

Projecte de Fi de Carrera  
**Enginyeria Industrial**

## **Implementació de lones fotovoltaïques en les cobertes dels polígons CIM La Selva i CIM Vallès**

### **MEMÒRIA**

<b>Autor:</b>	Jaume Domènech Bonet
<b>Director:</b>	Emilio Hernández Chiva
<b>Convocatòria:</b>	Setembre 2017



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

Aquest projecte té com a objectiu fonamental l'estudi de l'aplicació de la tecnologia fotovoltaica de capa fina sobre les diferents cobertes de les plantes industrials del CIM La Selva i CIM Vallès en elements actius de captació i transformació de l'energia fotovoltaica per poder-la utilitzar principalment per l'autoconsum dels propis edificis i les seves activitats.

El projecte es centra en els polígons del CIM La Selva i CIM Vallès les parcel·les dels quals s'han comptabilitzat per conèixer la superfície de les cobertes que podria servir per acollir les instal·lacions fotovoltaïques. Existeixen diversos tipus de tecnologies fotovoltaïques, però en aquest projecte es proposa la opció de capa fina degut a les restriccions de pes de les cobertes. S'han plantejat dos tipus d'instal·lacions (20 kW i 100 kW) per aprofitar al màxim les cobertes i maximitzar la producció d'energia fotovoltaica.

Els resultats obtinguts a l'estudi energètic ens mostren que les cobertes dels CIM La Selva i CIM Vallès tenen una capacitat de producció d'energia elèctrica de 3,44 i 12,47 GWh anuals cobrint el 56,55% i 77,20% de la demanda elèctrica respectivament. Es proposa destinar una petita part d'aquesta electricitat a trenta estacions de recàrrega de vehicles elèctrics que es construirien a la zona per obtenir millors resultats a l'estudi econòmic i mediambiental.

Els càlculs mediambientals estimen que gràcies a aquest projecte, s'evitarien les emissions atmosfèriques anuals de 1226,51 t de CO<sub>2</sub>, 2130,26 kg de SO<sub>2</sub> i 1678,38 kg de NO<sub>x</sub>.

A l'anàlisi econòmic s'obtenen retorns d'inversió elevats, degut principalment a l'eficiència i al preu dels mòduls solars. El marc legislatiu espanyol tampoc ajuda a obtenir uns millors resultats amb impostos que perjudiquen encara més les instal·lacions fotovoltaïques.

Es conclou al final del projecte que tot i els avantatges d'una instal·lació de panells lleugers i les seves aplicacions, possiblement s'ha d'esperar una situació més favorable.



# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>3</b>
<b>1. GLOSSARI</b>	<b>7</b>
<b>2. PREFACI</b>	<b>9</b>
2.1. Context Energètic.....	9
2.2. Origen del projecte .....	10
<b>3. INTRODUCCIÓ</b>	<b>11</b>
3.1. Objectius del projecte .....	11
3.2. Abast del projecte.....	11
3.3. Sistema solució considerat.....	12
<b>4. L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA</b>	<b>15</b>
4.1. Història de l'energia solar fotovoltaica.....	15
4.2. Situació actual de l'energia solar fotovoltaica en el món.....	16
4.3. Marc legal.....	19
4.3.1. La llei del Sector Elèctric 24/2013 .....	19
4.4. Sistemes fotovoltaics.....	20
4.4.1. L'efecte fotovoltaic .....	20
4.4.2. Components d'un sistema fotovoltaic convencional.....	21
4.5. L'autoconsum fotovoltaic.....	22
4.5.1. Avantatges de l'autoconsum .....	22
4.5.2. Tipus d'instal·lacions d'autoconsum.....	22
<b>5. DESCRIPCIÓ DE L'ÀMBIT D'ACTUACIÓ</b>	<b>23</b>
5.1. CIM La Selva.....	23
5.1.1. Situació geogràfica.....	23
5.1.2. Disposició de les cobertes .....	24
5.2. CIM Vallès .....	26
5.2.1. Situació geogràfica.....	26
5.2.2. Disposició de les cobertes .....	27
<b>6. DISSENY DE LA INSTAL·LACIÓ</b>	<b>30</b>
6.1. Disseny General.....	30

6.2.	Components del sistema fotovoltaic .....	31
6.2.1.	Mòdul solar .....	31
6.2.2.	Inversor.....	35
6.2.3.	Controlador Dinàmic de Potència .....	35
6.2.4.	Analitzador de xarxes trifàsic (CVM-Mini) .....	36
6.2.5.	Transformador de corrent eficient (MC3) .....	36
6.2.6.	Proteccions de sobre tensió.....	36
6.3.	Configuració de les instal·lacions .....	36
<b>7.</b>	<b>ESTUDI ENERGÈTIC .....</b>	<b>42</b>
7.1.	Càlcul de pèrdues .....	43
7.1.1.	Pèrdues degudes a la temperatura $P_{Temp}$ .....	43
7.1.2.	Pèrdues per cablejat $P_1$ .....	45
7.1.3.	Pèrdues degudes a la brutícia acumulada sobre els mòduls $P_2$ .....	45
7.1.4.	Pèrdues per inclinació i azimuth $P_3$ .....	45
7.1.5.	Pèrdues degudes a l'inversor $P_4$ .....	46
7.1.6.	Pèrdua per dispersió de paràmetres $P_5$ .....	47
7.1.7.	Pèrdues per ombrejat $P_6$ .....	47
7.1.8.	Rendiment energètic de la instal·lació .....	47
7.2.	Energia produïda .....	48
<b>8.</b>	<b>APLICACIONS DE L'ENERGIA PRODUÏDA .....</b>	<b>50</b>
8.1.	Comparativa amb la demanda dels polígons .....	50
8.2.	Ús per a la recarrega de vehicles elèctrics .....	51
<b>9.</b>	<b>ESTUDI ECONÒMIC .....</b>	<b>53</b>
9.1.	Introducció .....	53
9.2.	Costos.....	53
9.2.1.	Inversió inicial .....	53
9.2.2.	Costos de manteniment.....	56
9.2.3.	Cost de l'energia consumida.....	57
9.3.	Guany.....	57
9.3.1.	Venda d'electricitat a les estacions de recàrrega .....	57
9.3.2.	Import estalviat.....	57
9.4.	Quadre de resultats .....	58
<b>10.</b>	<b>IMPACTE MEDIAMBIENTAL .....</b>	<b>60</b>
10.1.	Reducció d'emissions .....	61
<b>11.</b>	<b>PLANIFICACIÓ I MANTENIMENT .....</b>	<b>62</b>

11.1. Planificació .....	62
11.2. Manteniment.....	63
<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>64</b>
<b>AGRAÏMENTS</b> .....	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>67</b>





## 1. Glossari

**Azimut:** Angle  $\alpha$  de desviació respecte a l'orientació sud

**CA.:** Corrent altern

**CC.:** Corrent Continu

**CEM:** Condicions estàndard de mesura

**$\eta$  (Eficiència):** Relació entre la potència màxima que el mòdul fotovoltaic pot generar i la potència de la radiació solar rebuda

**$E_p$ :** Energia produïda injectada a la xarxa [kWh]

**IDAE:** Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

**$I_{mpp}$ :** Intensitat en el punt de màxima potència

**$I_{cc}$ :** Intensitat de curtcircuit

**$P_m$ :** Potència màxima

**PR :** Performance Ratio – suma total de les pèrdues que té una instal·lació fotovoltaica

**RD-L:** Real Decreto-Ley

**$V_{ca}$ :** Tensió en circuit obert

**$V_{mpp}$ :** Tensió en el punt de màxima potència en la corba V-I



## 2. Prefaci

### 2.1. Context Energètic

El món, a dia d'avui, requereix d'una quantitat ingent d'energia i a més a més, la seva oferta i demanda tenen una tendència ascendent. L'any 2014 l'oferta mundial d'energia primària va assolir la xifra de 13.699 Mtep [\[1\]](#), més del doble de la oferta mundial l'any 1973. Això de per si no seria cap problema si no fos pel fet que en 41 anys, hem només disminuït en 5,6 punts percentuals la nostra dependència dels combustibles fòssils passant d'un 86,6% el 1973 a un 81,1% el 2014 (Taula 2.1).

	1973	2014
Petroli	46,20%	31,30%
Carbó	24,50%	28,60%
Gas Natural	16%	21,20%
Biocombustibles i residus	10,50%	10,30%
Nuclear	0,90%	4,80%
Hidràulica	1,80%	2,40%
Altres (geotèrmica, solar, eòlica)	0,10%	1,40%
Oferta mundial d'energia primària	6101 Mtep	13699 Mtep

*Taula 2.1: Percentatges d'oferta mundial d'energia primària.*[\[1\]](#)

A més, tot i que semblava que la oferta de combustibles fòssils (sobretot el petroli i el gas natural) es veuria afectada per l'esgotament dels jaciments, la descoberta de nous jaciments i la possibilitat d'arribar en llocs on abans no era econòmicament viable farà que la oferta continuï forta en les properes dècades a bon preu [\[2\]](#). El consum però d'aquestes energies, a més de ser finites i no sostenibles, també comportaran un augment de l'emissió de CO<sub>2</sub> així com la dependència als pocs països productors (principalment OPEC, Rússia i EUA).

Així doncs, com a país sense grans recursos naturals, tenim el repte de buscar i desenvolupar mètodes més sostenibles de crear energia que s'adaptin a la nostra realitat.

## **2.2. Origen del projecte**

Tal i com hem explicat en el capítol anterior, l'objectiu és buscar noves solucions més sostenibles i més adaptades a la nostra realitat per produir energia.

Les principals energies sostenibles són la solar (fotovoltaica i tèrmica), eòlica, geotèrmica, hidràulica, marines (gradient tèrmic, mareomotriu,...) i el biocombustibles. Totes tenen avantatges i inconvenients i s'ha de buscar una sinèrgia entre elles per intentar disminuir al màxim possible la dependència que tenim de les energies no sostenibles.

Per això la idea d'aquest projecte és aprofitar l'energia solar que irradia les cobertes de les naus industrials, un element ara mateix passiu.

## 3. Introducció

### 3.1. Objectius del projecte

Aquest projecte té com a objectiu principal calcular la capacitat de generació d'energia elèctrica mitjançant panells fotovoltaics lleugers aprofitant les cobertes de les naus industrials del CIM Vallès i CIM La Selva així com realitzar-ne l'anàlisi econòmic i mediambiental.

Amb l'anàlisi energètic es calcularà el potencial energètic de les cobertes utilitzant la tecnologia fotovoltaica tenint en compte que no han estat ni orientades ni dimensionades per acceptar-ne la instal·lació.

Amb l'anàlisi econòmic es vol calcular el cost d'aquesta instal·lació i si es pot obtenir un retorn de la inversió total a no molt llarg termini dins la legislació vigent.

Amb l'anàlisi mediambiental es calcularà la reducció d'emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera gràcies al fet que consumint energia creada amb energia solar fotovoltaica evitem el consum d'energia provinent d'altres fonts que ens arriba per la xarxa.

Aprofitarem també un petit percentatge de l'energia produïda pels panells solars amb una estació de recarrega de vehicles elèctrics. L'idea és vendre aquesta energia i millorar el retorn de la inversió total a més a més de promocionar una mitjà de transport sostenible i no contaminant.

### 3.2. Abast del projecte

Aquest projecte es centra en les naus industrials de dos polígons industrials situats al Vallès i a la Selva i on s'analitzaran els següents aspectes:

- Introducció de l'energia solar fotovoltaica, el seu funcionament el seu estat de salut.
- Presentació del marc legislatiu actual a Espanya
- Presentació de l'àmbit d'actuació, els CIM Vallès i CIM La Selva, amb les seves característiques de superfície de coberta útil així com inclinació i orientació.
- Anàlisi energètic del potencial energètic de les cobertes amb el sistema fotovoltaic escollit tot tenint en compte les seves pèrdues.
- Proposta d'un projecte d'estació de carrega de vehicles elèctrics que utilitzin l'energia generada per els panells solars fotovoltaics.
- Anàlisi de la viabilitat econòmica d'aquest projecte.

- Consideracions mediambientals que avalen l'aposta per aquest tipus d'instal·lacions per a un marc energètic més sostenible.

### 3.3. Sistema solució considerat

Per aprofitar les cobertes de les naus i donat que Catalunya té la sort d'estar situada geogràficament en un lloc amb un bon nivell d'insolació, s'opta per la utilització de l'energia solar fotovoltaica.

A Espanya fins el 2011, sobretot gràcies a uns ajuts molt generosos que van existir fins llavors, la majoria d'instal·lacions d'energia solar fotovoltaica eren per "parcs solars". Unes plantes de panells solars fotovoltaics col·locats en uns descampats que venien tota l'energia produïda a la xarxa elèctrica. Per aquestes instal·lacions s'utilitzaven sovint panells solars pesants de tipus cristal·lí i col·locats en l'orientació i inclinació òptima per obtenir el màxim rendiment possible. Aquest tipus d'instal·lacions van perdre el seu interès amb l'aparició del *Real Decreto-Ley 1/2012, de 27 de gener, "por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de pre-asignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos"* [\[3\]](#).

En el nostre cas, utilitzarem la fórmula d'autoconsum que significa que el productor de l'energia pot alhora client i consumidor, estalviant-se així una part o el total de l'energia que consumeix.

Utilitzar les cobertes de les naus industrials és una manera d'aprofitar aquests elements passius d'aquests edificis per fer-los actius. Les cobertes dels edificis però, no van ser construïdes pensant en poder-hi instal·lar unes panells fotovoltaics pesants. Per això per aquest projecte s'opta per la tecnologia de capa fina, més lleugers que els panells tradicionals.

Després d'estudiar diverses opcions, s'ha triat un panell fotovoltaic de capa fina i flexible amb cel·les policristal·lines. Gràcies a la seva lleugeresa i la facilitat d'instal·lació, el fa apte per la instal·lació en les cobertes després d'una inspecció tècnica obligada.

Aquests són doncs els avantatges del sistema considerat:

- Gràcies a la seva lleugeresa i flexibilitat aquests panells fotovoltaics són de instal·lació senzilla. Això evita haver de fer grans reformes per poder posar els panells a les cobertes i doncs ens permet estalviar en el pressupost.
- L'aprofitament d'un element passiu de l'edifici per transformar-lo en actiu.
- L'autoconsum hauria de permetre estalviar en la factura elèctrica

- Els panells fotovoltaïcs afegeixen una capa més a les cobertes, millorant l'aïllament tèrmic de les naus.
- L'impacte visual és nul si considerem que la majoria de cobertes ja tenen un aspecte degradat.
- Dóna un aspecte de modernitat al polígon industrial.
- Produir energia fotovoltaïca permet tenir un comportament sostenible i responsable amb el medi ambient.





## 4. L'energia solar fotovoltaica

L'Energia és la capacitat d'un sistema a proporcionar treball, es pot dur a terme de forma mecànica o tèrmica principalment. Un tipus d'energia tèrmica o calorífica és l'energia solar, manifestada de dues formes bàsiques: llum i calor. Ambdues són essencials per la vida al nostre planeta: la llum proporciona energia a les plantes gràcies a la fotosíntesi, mentre que la calor dota la terra d'un clima apte per a la vida. Per la seva banda, l'ésser humà ha aconseguit captar l'energia solar com a font d'energia renovable, una alternativa neta al sempre amenaçant "problema energètic".

### 4.1. Història de l'energia solar fotovoltaica

El 1838 Alexandre Edmond Becquerel va descobrir l'efecte fotovoltaic amb tot just 19 anys, quan estava experimentant amb dos elèctrodes connectats a una pila de platí. Becquerel va observar com el corrent d'un dels elèctrodes augmentava en ser exposat aquest a la llum solar.

Més endavant, el 1873, l'enginyer anglès Willoughby Smith va descobrir la fotoconductivitat al seleni. En 1876 Smith va aprofundir en aquesta troballa en descobrir que el seleni produïa energia solar. Va ser llavors quan hi van haver intents de crear plaques de captació solar fetes amb seleni, però no va donar el resultat esperat. No obstant això, no va ser un descobriment en va: es va saber llavors que un cos sòlid podia convertir la llum en electricitat sense necessitat de parts mòbils addicionals. Aquesta troballa serviria de base per els descobriments en el camp de l'energia solar que arribarien més endavant.

A principis de segle XX es van fer altres descobriments, com el de l'efecte fotoelèctric proposat per Einstein el 1905 (i demostrat experimentalment més de deu anys després), però el descobriment que revolucionaria l'aplicació pràctica d'aquesta energia no va arribar fins a 1953, quan el físic de Bell Labs Gerald Pearson va descobrir, en els seus treballs amb rectificadors de silici, que aquest material era molt més eficient amb l'efecte fotovoltaic que qualsevol placa feta de seleni. Altres enginyers de Bell Labs van perfeccionar la cèl·lula de silici de Pearson, creant les primeres plaques fotovoltaïques capaços d'oferir resultats pràctics.

No obstant això, aquestes primeres plaques solars de silici eren massa costoses: un watt d'electricitat produït per centrals convencionals costava a l'època 50 cèntims, mentre que un watt produït amb energia fotovoltaica arribava als 300 dòlars; això descartava la possibilitat d'un subministrament massiu d'energia solar FV a la població. Només la indústria del joguet i

la electrònica treien partit d'aquesta tecnologia per al seu ús en alguns artefactes elèctrics, però no era suficient perquè la tecnologia FV es desenvolupés plenament.

Per sort, l'inici de la carrera espacial durant els anys 50 va afavorir el desenvolupament de panells fotovoltaics: era el mètode ideal per donar energia als satèl·lits que es llançaven cada vegada més freqüentment a l'espai. Els costos no eren problema ja que el finançament dels projectes de la NASA era elevat. A mesura que es llançaven satèl·lits es confirmava la utilitat dels panells solars i es va començar a augmentar la seva potència instal·lada. Des del satèl·lit Vanguard I, llançat el 1958, el primer amb tecnologia fotovoltaica amb una potència de 0,1 kW, fins al Skylab, amb 20 kW, llançat el 1973. No només els Estats Units van utilitzar aquesta tecnologia en els seus satèl·lits, l'URSS també va començar a aplicar-la sistemàticament en els seus projectes espacials.

Malgrat l'èxit de la tecnologia fotovoltaica a l'espai, seguia sent massa cara per a les seves aplicacions terrestres, a més de tenir una baixa eficiència, tot just un 14%. Tot va canviar quan la Exxon Corporation va dissenyar una cèl·lula solar que augmentava l'eficiència a l'19% i reduïa el cost per watt de 300 \$ a 20 \$. Per a això es va utilitzar un silici amb un grau de puresa menor, i uns materials encapsulats més barats.

Aquesta va ser una fita a l'història de l'energia solar fotovoltaica. Ja era viable el desenvolupament de plaques solars en instal·lacions aïllades de la xarxa elèctrica. Les aplicacions pràctiques terrestres es van multiplicar i el 1975 ja superaven les dels projectes espacials. En 1977 el govern d'EUA va abraçar la tecnologia fotovoltaica obrint el "Solar Energy Research Institute". Altres governs li van seguir els passos en els anys següents amb projectes similars.

La dècada dels 80 també va oferir nombrosos avenços, com la creació el 1982 del primer automòbil que funcionava amb energia solar. I a la fi dels 80 van començar a construir-se les primeres centrals d'energia solar. Des de finals dels anys 90, la producció de cèl·lules fotovoltaïques ha experimentat un augment sense precedents, cada vegada més accentuat.

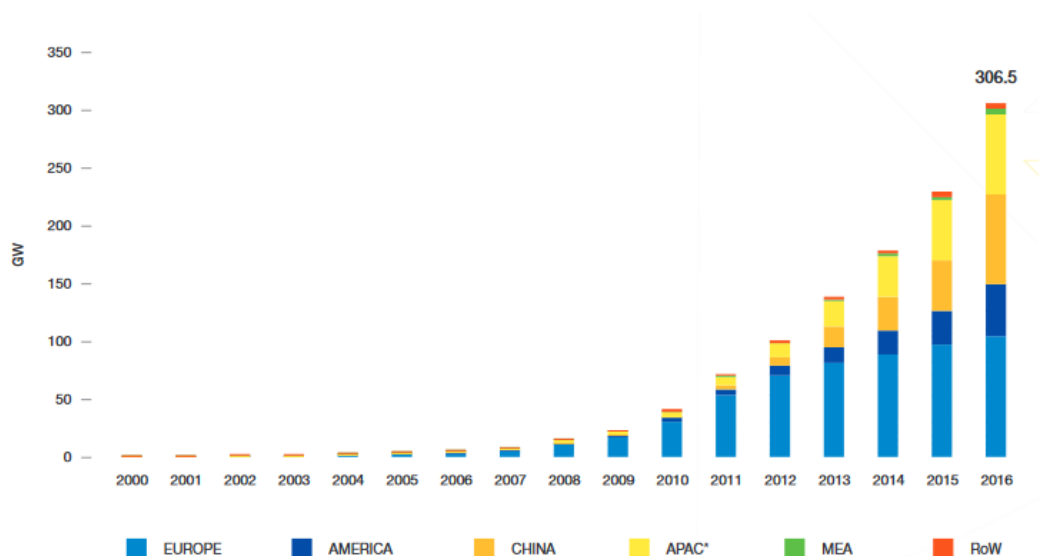
## **4.2. Situació actual de l'energia solar fotovoltaica en el món**

L'energia solar fotovoltaica porta els últims 10 anys creixent de forma exponencial, impulsada per la necessitat d'assumir els reptes que les situacions energètica i mediambiental presenten.

Aquest creixement es va produir al principi gràcies als mecanismes de foment d'alguns països que, com Espanya, van propiciar un gran increment de la capacitat global de fabricació,

distribució i instal·lació d'aquesta tecnologia. I més endavant ha continuat gràcies a l'abaratiment constant de l'energia solar respecte a altres tipus d'energia sostenibles.

Segons les dades de l'European Photovoltaic Industry Association (EPIA) [\[4\]](#), l'any 2016 es van instal·lar a tot el món 76,6 GW de potencia en energia solar fotovoltaica, sumant un total de 306,5 GW de capacitat. Sobretot degut a un gran augment de potencia instal·lada a Xina, Índia i Japó. Europa tot i ser pionera en la implantació d'energia solar fotovoltaica (74% de les noves instal·lacions mundials el 2011) ha passat l'any 2016 a un segon lloc darrera de la zona Àsia-Pacífic que acumula el 48% del mercat global.



*Fig. 4.1: Evolució de la potencia fotovoltaica global acumulada instal·lada entre 2000-2016*

Es pot apreciar com en els últims anys, la potencia fotovoltaica a Europa ha reduït la seva progressió considerablement i com la major part de l'augment ha estat en la zona Àsia-Pacífic amb Xina com a gran actor. Això és degut a una reducció del costs dels mòduls solars fotovoltaics afegit als subsidis que encara donen alguns països.

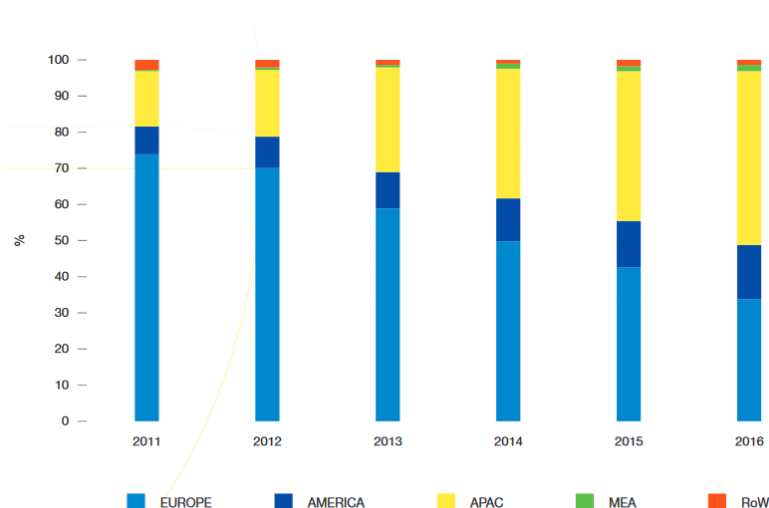


Fig. 4.2: Evolució del percentatge de la potència fotovoltaica global instal·lada 2011-2016

Els 5 països amb més potència fotovoltaica acumulada instal·lada el 2016 són Xina, Japó, Estats Units, Alemanya i Itàlia i representen ells sols gairebé tres quarts del total de l'energia fotovoltaica acumulada instal·lada al món. La següent figura mostra el mercat fotovoltaic global:

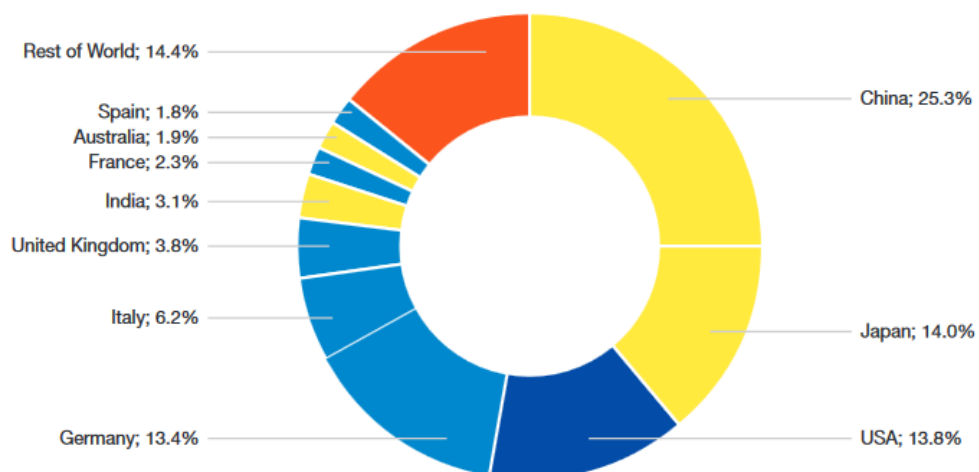


Fig. 4.3: Potència fotovoltaica acumulada instal·lada per països.

Varis països de la Unió Europea es van proposar a principis de segle impulsar el desenvolupament i implantació de l'energia fotovoltaica cada cop més. Això va potenciar el mercat europeu fins l'any 2012, quan va començar a decaure. Alemanya va ser el país que

va apostar més fort per les instal·lacions fotovoltaïques. En aquests moments, Alemanya continua sent el país europeu amb més potència instal·lada, seguit d'Itàlia i el Regne Unit.

L'any 2008, Espanya va experimentar un boom d'instal·lació fotovoltaïca que es va convertir amb més de 3000 MW de potència instal·lada aquell any, però el 2009 aquest creixement va parar en sec. Les causes d'aquest gran creixement va ser degut a que es veien com una inversió segura en principis de crisi econòmica i que era previsible la revisió del sistema dels ajuts definit el 2007 en un intent per part dels legisladors de controlar aquest mercat. El finals de 2008 va ser quan es implantar el RD 1578/2008 [\[5\]](#).

Les regulacions que van seguir com la del RD-L 1565/2010 [\[6\]](#), que eliminava la tarifa regulada passat el vint-i-cinquè any i rebaixava encara més la tarifa, o la del RD-L 1614/2010 [\[7\]](#), que limitaven les hores de funcionament de les instal·lacions fotovoltaïca, van desincentivar encara més el sector.

Actualment hi ha aproximadament 5.6 GW de potència fotovoltaïca instal·lada a Espanya amb només 55 MW nous l'any 2016. Això situa a Espanya com el cinquè país europeu amb més potència instal·lada i el desè del món.

### 4.3. Marc legal

Les instal·lacions fotovoltaïques han hagut d'atravessar dificultats, no només econòmiques i tècniques sinó també d'acceptació sociocultural, fins a arribar a la situació actual de desenvolupament.

Els continus canvis en l'estratègia energètica del país i, sobretot, els continus rumors que segueixen rodejant el sector fan fràgil aquest tipus de tecnologia. La intenció del govern ha sigut cada cop més la de forçar a la indústria renovable, en particular la fotovoltaïca, a aproximar els costos de producció de kWh renovable a un kWh produït per energies convencionals mitjançant la reducció continuada dels ajuts i l'aplicació de nous impostos.

Amb aquest escenari, i tenint en compte que la capacitat de generació instal·lada fins ara a Espanya sembla ser suficient per assegurar la cobertura de la demanda gràcies en part a la crisi, el govern no veu imprescindible millorar-ne les condicions.

#### 4.3.1. La llei del Sector Elèctric 24/2013

A finals de 2013 es va aprovar la Llei del Sector Elèctric 24/2013 [\[8\]](#), que deroga l'anterior de 1997. En el seu 9º article es parla sobre els punts referents a l'autoconsum (veure Annex A).

A més de confirmar la intenció d'aplicar el "peaje de respaldo", també s'obliga als consumidors d'instal·lacions d'autoconsum a inscriure's al registre d'autoconsum d'energia elèctrica. Es considera a l'apartat de sancions una falta molt greu l'incompliment de la obligació de registre.

Per últim, es va publicar el 2015 el Real Decreto 900/2015 [\[9\]](#), on es regula encara més l'autoconsum i s'implanta el "peaje de respaldo", una mesura que va tornar a ser vista pels consumidors com a dolenta.

La normativa actual és, doncs, considerada problemàtica pel sector fotovoltaic espanyol, i encara més pels que estan interessat per l'autoconsum. Els constants canvis en la retribució impliquen retroactivitat legislativa que es tradueix casi sempre amb pèrdues per part dels inversor en un sector sense casi ajudes.

El sector fotovoltaic espanyol està en crisi, des de 2013 que casi no s'instal·len instal·lacions fotovoltaiques noves, i des de molts àmbits es desitja un canvi que torni a afavorir un cop més la inversió en aquesta font d'energia.

## **4.4. Sistemes fotovoltaics**

### **4.4.1. L'efecte fotovoltaic**

El principi de funcionament d'una cèl·lula fotovoltaica el l'efecte fotovoltaic, descobert per A. E. Becquerel el 1838. Aquest efecte és una variació de l'efecte fotoelèctric, en el que un material emet electrons quan rep una radiació electromagnètica. En el cas del fotovoltaic, la radiació en qüestió és la llum visible.

La llum està composta per fotons, i aquells que son absorbits per una cèl·lula fotovoltaica poden generar electricitat al combinar-se amb els electrons dels àtoms de la cèl·lula. Amb aquesta nova energia, els electrons son capaços d'escapar-se de la seva posició normal associada a una àtom i formar un corrent elèctric en un circuit.

La part més important d'una cèl·lula fotovoltaica és la capa de semiconductors, els àtoms dels quals contenen els electrons que, combinats amb els fotons de la llum solar, formaran el corrent elèctric. Aquests semiconductors utilitzen una unió P-N per formar un camp elèctric al rebre llum solar. Aquest camp fa que els electrons flueixin cap el costat N, creant uns "forats a N que van cap el costat P. Quan molts electrons, cada un amb una càrrega negativa, viatgen cap a la superfície de la cèl·lula, el desequilibri de la càrrega resultant entre les superfícies superior i inferior de la placa genera un potencial com el del pols positiu i negatiu d'una bateria. S es crea un curtcircuit entre ambdues superfícies, s'estableix un corrent elèctric.

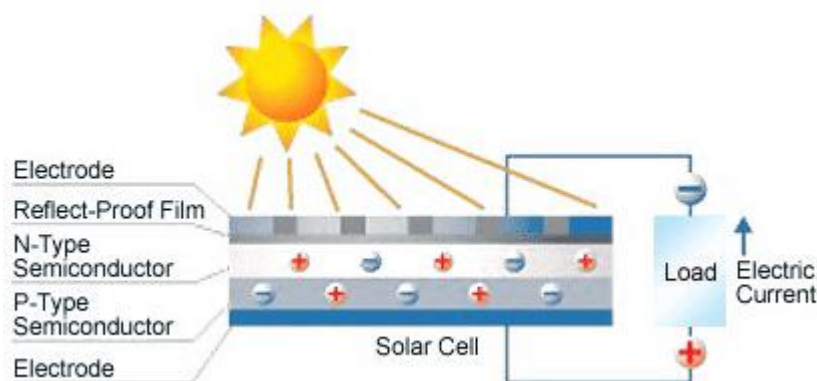


Fig. 4.4: Diagrama de l'efecte fotovoltaic

#### 4.4.2. Components d'un sistema fotovoltaic convencional

Tot seguit s'explicarà els components essencials d'un sistema fotovoltaic, no només del mòdul, sinó de tota la instal·lació [\[10\]](#).

- **Cèl·lula fotovoltaica:** Es tracta de l'element principal de la instal·lació, el generador principal d'energia. És en aquest component on té lloc l'efecte fotovoltaic anteriorment descrit. La zona N del semiconductor és la que està exposada al sol, mentre que la superfície externa de la P està a l'ombra. Cada una de les parts té un terminal de connexió: la cara que correspon a la zona P està totalment metal·litzada, mentre que a la zona N el metal·litzat té forma de pinta permetent l'entrada de la radiació solar en el semiconductor.

Hi ha diferents tipus de cèl·lules fotovoltaïques. Les de silici monocristal·lí, on cada cèl·lula està formada per un únic cristall oferint una alta eficiència (16%-18%) però que tenen un procés de fabricació costós, i són fràgils. Les cèl·lules de silici policristal·lí són menys costoses que les monocristal·lines però també menys eficients (~15%) i igual de fràgils. I un tercer tipus seria la cèl·lula de silici amorf que tenen encara menys eficiència (6%-9%).

La potència que proporciona una sola cèl·lula solar és petita, per això s'associen entre elles amb l'objectiu de proporcionar la potència que necessita el mòdul.

- **Mòdul:** El mòdul convencional està format per un conjunt de cèl·lules connectades elèctricament i encapsulades dins d'una estructura o marc. L'encapsulat protegeix de l'abradió, la humitat i els rajos UV.
- **Regulador:** És el dispositiu encarregat de protegir la bateria del sistema de sobrecàrregues i sobredescàrregues.
- **Inversor:** És el dispositiu encarregat de transformar el corrent continu provinent dels mòduls solars en corrent altern apte per la xarxa elèctrica.

## **4.5. L'autoconsum fotovoltaic**

### **4.5.1. Avantatges de l'autoconsum**

L'autoconsum és una opció del grup o individu a càrrec d'una instal·lació fotovoltaica per consumir l'energia produïda enlloc d'enviar-la a la xarxa elèctrica. Els seus principals avantatges són:

- L'estalvi de la factura: al produir una part de l'energia consumida, la factura elèctrica es pot reduir considerablement.
- L'estalvi de pèrdues de transport ja que es consumeix al mateix lloc on es produeix.
- El consum elèctric generat per una energia neta com la solar fotovoltaica té efectes beneficiosos respecte al medi ambient, reduint la dependència energètica i les emissions de CO<sub>2</sub>.

### **4.5.2. Tipus d'instal·lacions d'autoconsum**

Existeixen dos tipus d'instal·lacions d'autoconsum: les instal·lacions autònomes o aïllades, i les connectades a la xarxa.

Les instal·lacions d'autoconsum autònomes són aquelles instal·lacions en les que l'electricitat generada s'utilitza per el consum propi en llocs on l'accés a la xarxa elèctrica és difícil i implica un alt cost. El consum pot ser instantani o diferit amb l'ajuda d'una bateria acumuladora.

Les instal·lacions connectades a la xarxa en canvi estan permanentment connectades a la xarxa elèctrica amb la possibilitat de poder vendre els excedents o importar electricitat en cas de que la instal·lació no compleixi amb la demanda en algun moment. Són aquestes instal·lacions que es veuen afectades per el "peaje de respaldo".



## 5. Descripció de l'àmbit d'actuació

Aquest projecte presenta un cas pràctic d'aplicació per estudiar la viabilitat tècnica, econòmica i mediambiental de la instal·lació d'unes lones fotovoltaïques sobre les cobertes de les naus industrials de dos polígons industrials gestionats per CIMALSA. CIMALSA és una empresa pública de la Generalitat de Catalunya, encarregada de la promoció, el desenvolupament i la gestió d'infraestructures i centrals per al transport de mercaderies i la logística [\[11\]](#). Actualment CIMALSA és responsable de 6 centres logístics repartits en tota la geografia catalana i té en marxa 4 projectes més d'ampliació o implantació de nous centres logístics. En aquest projecte s'estudien les naus dels polígons corresponents a la CIM La Selva i la CIM Vallès.

### 5.1. CIM La Selva

La CIM La Selva es va posar en marxa el 7 de maig de 2007 i des de llavors s'hi han instal·lat més de 20 empreses dels sectors de serveis o logística. Entre aquestes empreses hi podem trobar tant empreses internacionals com DHL i Hertz com empreses del territori com Ceràmiques Cufí S.C. o Transports Tresseras S.A.

#### 5.1.1. Situació geogràfica

La Central Integrada de Mercaderies de la Selva (CIM La Selva), amb una superfície bruta de 22,5 ha, està situada entre els municipis de Vilobí d'Onyar i Riudellots de la Selva, en un punt estratègic de la xarxa viària on es creuen el corredor del Mediterrani (l'AP-7 i l'A-2) amb l'eix Transversal (C-25) i contigu a l'aeroport de Girona.



Figura 5.1: Situació geogràfica de la CIM La Selva

### 5.1.2. Disposició de les cobertes

La CIM La Selva té ara mateix construïdes 7 naus industrials que són les que es consideraran per la instal·lació dels generadors fotovoltaics. Tal i com es pot apreciar en la figura 4.2, les cobertes de les naus són diferents i per això s'ha considerat cada coberta singularment alhora de fer els càlculs [Annex B].



Figura 5.2: Vista aèria de la CIM La Selva

La taula següent és una taula resum indicant les principals característiques de les cobertes de cada nau industrial. Per omplir la taula s'han utilitzat les dades i els plànols proporcionats per CIMALSA. Per calcular la superfícies disponibles en cada coberta de cada nau s'ha primer calculat la superfície total de cada coberta i després se l'hi ha restat els elements ja instal·lats a la coberta com lluernes i exutoris entre d'altres. Finalment, degut a unes aproximacions que s'han hagut de fer ja que no tots els plànols proporcionats per CIMALSA estaven complets, s'ha restat un 2,5% de la superfície resultant en concepte de factor de correcció. L'elecció de la magnitud del factor de correcció s'ha pres de tal manera que la superfície restada fos coherent amb els altres valors.

	Coberta	Orientació (azimut) [N=0º ; E=90º]	Inclinació [º]	Superfície Coberta Disponibile [m2]	Superfície Total Disponibile [m2]
Parcel·la 2.1	A	32,00	1,60	5.229,64	10.459,28
	B	212,00	1,60	5.229,64	
Parcel·la 2.2	A-B	- <sup>(1)</sup>	- <sup>(1)</sup>	2.317,83	2.317,83
Parcel·la 2.3	A	32,00	10,00	1.360,28	3.092,46
	B	212,00	10,00	1.360,28	
	C	- <sup>(1)</sup>	- <sup>(1)</sup>	371,90	
Parcel·la 3	A	32,00	5,70	5.361,24	10.812,47
	B	212,00	5,70	5.451,24	
Parcel·la 4.1 & 4.2	A	32,00	4,20	3.485,78	6.971,55
	B	212,00	4,20	3.485,78	
Parcel·la 4.3 <sup>(2)</sup>	A	122,00	26,00	488,93	4.086,62
	B	122,00	9,00	617,22	
	C	- <sup>(1)</sup>	- <sup>(1)</sup>	261,90	
	D	302,00	9,00	617,22	
	E	302,00	26,00	488,93	
	F	32,00	2,86	892,00	
	G	212,00	2,86	265,54	
	H	- <sup>(1)</sup>	- <sup>(1)</sup>	454,88	

<sup>(1)</sup> Aquestes cobertes al ser horitzontals no tenen cap orientació ni cap inclinació.

<sup>(2)</sup> Les cobertes de la A a la E són una simplificació d'una coberta semi-cilíndrica.

TAULA 5.1: Descripció de les cobertes de la CIM La Selva



Es pot observar com la superfície de coberta potencialment utilitzable és prou gran com perquè ens pugui interessar fer aquest estudi. Ara mateix, aquest espai està desaprofitat i l'objectiu d'aquest projecte és de calcular-ne el potencial energètic i veure si és viable econòmicament.

## 5.2. CIM Vallès

Des que es va posar en funcionament l'any 1997, la CIM Vallès ha esdevingut un punt clau de distribució de mercaderies, principalment d'àmbit espanyol, però amb un clar component exportador. Actualment hi ha més de 70 empreses instal·lades també entre els sectors de logística i serveis.

### 5.2.1. Situació geogràfica

La Central Integrada de Mercaderies del Vallès (CIM Vallès), amb una superfície bruta de 44.2 ha, està situada al terme municipal de Santa Perpètua de Mogoda, entre dues grans vies de comunicació: l'AP-7 i la C-33. Aquesta localització l'hi permet ser la plataforma logística d'alta rotació de la regió metropolitana de Barcelona.

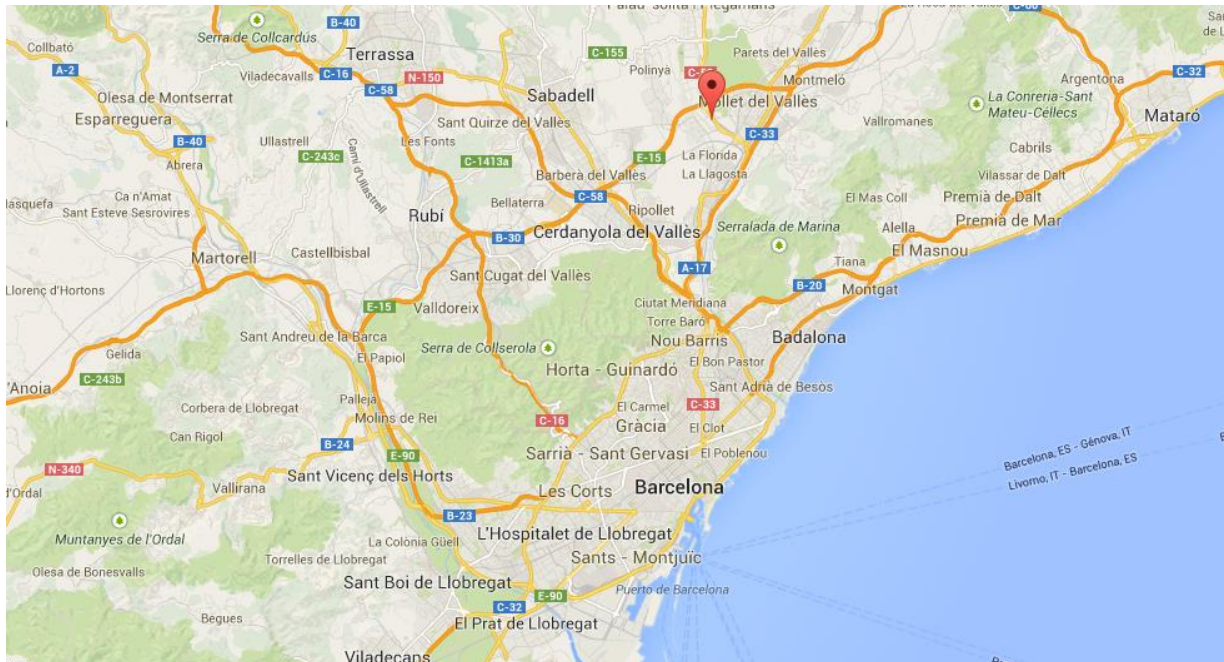


Figura 5.3: Situació geogràfica de la CIM Vallès

### 5.2.2. Disposició de les cobertes

La CIM La Selva té ara mateix construïdes 12 naus industrials que són les que es consideraran per la instal·lació dels generadors fotovoltaïcs. Anàlogament a la CIM La Selva i tal i com es pot apreciar en la figura 5.4, les cobertes de les naus són diferents i per això s'ha considerat cada coberta singularment alhora de fer els càlculs [Annex B].

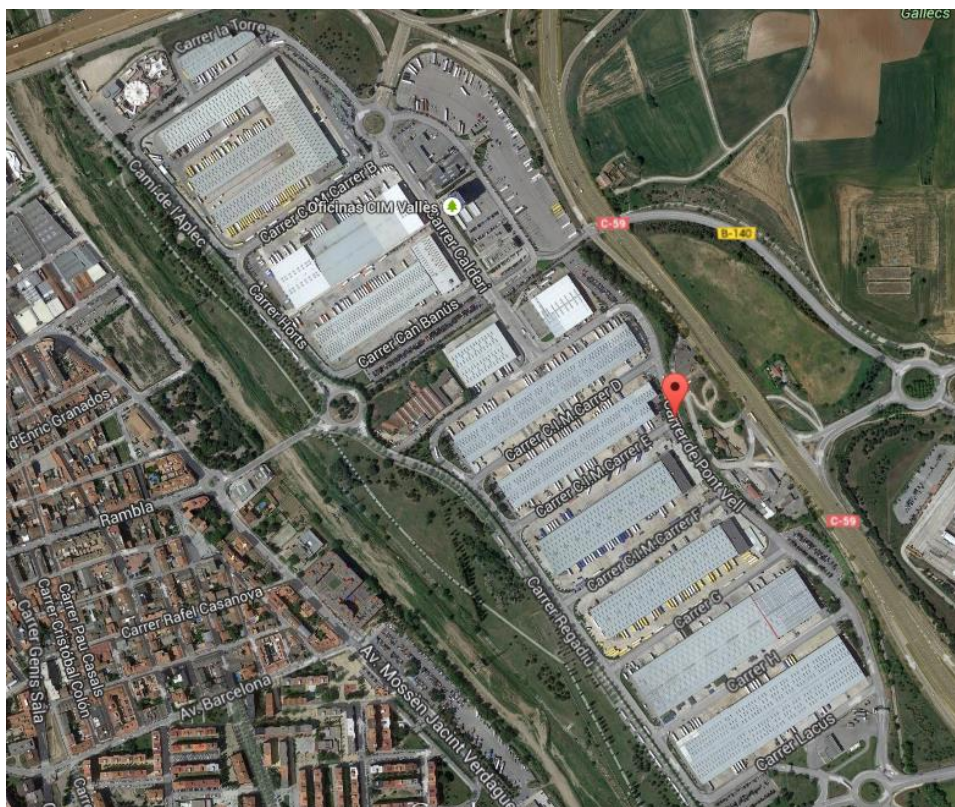


Figura 5.4: Vista aèria de la CIM Vallès

La taula següent [Taula 5.2] és una taula resum indicant les principals característiques de les cobertes de cada nau industrial. Per omplir la taula s'han utilitzat les dades i els plànols proporcionats per CIMALSA. Per calcular la superfícies disponibles en cada coberta de cada nau s'ha primer calculat la superfície total de cada coberta i després se l'hi ha restat els elements ja instal·lats a la coberta com lluernes i exutoris entre d'altres. Finalment, degut a unes aproximacions que s'han hagut de fer ja que no tots els plànols proporcionats per CIMALSA estaven complets, s'ha restat un 2,5% de la superfície resultant en concepte de

factor de correcció. L'elecció de la magnitud del factor de correcció s'ha pres de tal manera que la superfície restada fos coherent amb els altres valors.

	Coberta	Orientació (azimut) [N=0° ; E=90°]	Inclinació [°]	Superfície Coberta Disponible [m2]	Superfície Total Disponible [m2]
Parcel·la 1	A	325,00	5,70	1.280,27	3.041,49
	B	145,00	5,70	1.761,22	
Parcel·la 2	A	325,00	5,70	6.926,72	20.699,13
	B	145,00	5,70	6.926,72	
	C	55,00	5,70	3.445,35	
	D	235,00	5,70	3.400,35	
Parcel·la 3	A	325,00	5,70	3.498,18	12.367,11
	B	325,00	5,70	3.521,93	
	C	145,00	5,70	1.848,83	
	D	145,00	5,70	3.498,18	
Parcel·la 4	A	325,00	5,70	3.090,76	8.402,51
	B	145,00	5,70	3.057,72	
	C	55,00	5,70	1.111,61	
	D	235,00	5,70	1.142,42	
Parcel·la 5	A	325,00	5,70	1.963,27	3.926,55
	B	145,00	5,70	1.963,27	
Parcel·la 6	A	325,00	5,70	1.941,41	4.912,35
	B	145,00	5,70	1.941,41	
	C	- <sup>(1)</sup>	- <sup>(1)</sup>	1.029,53	
Parcel·la 7	A	325,00	5,70	6.365,28	12.747,98

	B	145,00	5,70	6.382,70	
Parcel·la 8	A	325,00	5,70	5.558,86	10.719,62
	B	145,00	5,70	5.160,76	
Parcel·la 9	A	325,00	5,70	4.336,04	9.529,78
	B	145,00	5,70	4.336,04	
	C	- <sup>(1)</sup>	- <sup>(1)</sup>	857,70	
Parcel·la 10	A	325,00	5,70	4.027,35	8.754,45
	B	145,00	5,70	4.027,35	
	C	- <sup>(1)</sup>	- <sup>(1)</sup>	699,75	
Parcel·la 11	A	325,00	5,70	8.490,92	17.038,61
	B	145,00	5,70	8.547,69	
Parcel·la 12	A	325,00	5,70	8.422,42	16.844,83
	B	145,00	5,70	8.422,42	

<sup>(1)</sup> Aquestes cobertes al ser horitzontals no tenen cap orientació ni cap inclinació.

TAULA 5.2: Descripció de les cobertes de la CIM Vallès

Anàlogament a la CIM La Selva, la superfície de coberta disponible a cada nau és prou gran com per no menysprear-la. Tot seguit s'analitzarà les característiques dels generadors fotovoltaics escollits.



## 6. Disseny de la instal·lació

Es vol subministrar amb energia elèctrica les naus industrials dels polígons ajudant així a reduir la despesa energètica que aquest tipus d'activitat genera. Per això, l'energia solar fotovoltaica és una molt bona solució en aquests casos. Utilitzant les cobertes de les naus, s'aprofita un element que fins ara era passiu de l'empresa i es converteix en actiu. A més, utilitzant sistemes solars fotovoltaics de capa fina, es minimitzen dràsticament els problemes que hi puguin haver simplificant-ne la instal·lació i la posada en marxa.

També es faran unes estacions de recarrega de vehicles elèctrics.

### 6.1. Disseny General

El disseny de la instal·lació se denominat com a "instal·lació d'autoconsum instantani d'injecció zero". Aquest disseny prové d'una de les propostes d'instal·lacions realitzades per l'empresa Circutor per vendre els seus kits d'instal·lacions solars per l'autoconsum [\[12\]](#). El CDP-0 és el controlador de potencia que s'encarrega de que no s'injecti energia a la xarxa. En el circuit AC es pretén connectar una estació de recarrega de vehicles elèctrics per vendre una part de la energia produïda. En el cas d'aquest projecte aquesta fracció no serà un excedent de la demanda i per tant el dispositiu de recarrega de vehicles no actua d'acumulador. L'energia serà consumida al moment perquè estudia preliminar indiquen que la instal·lació del panells no cobreix tota la demanda energètica.

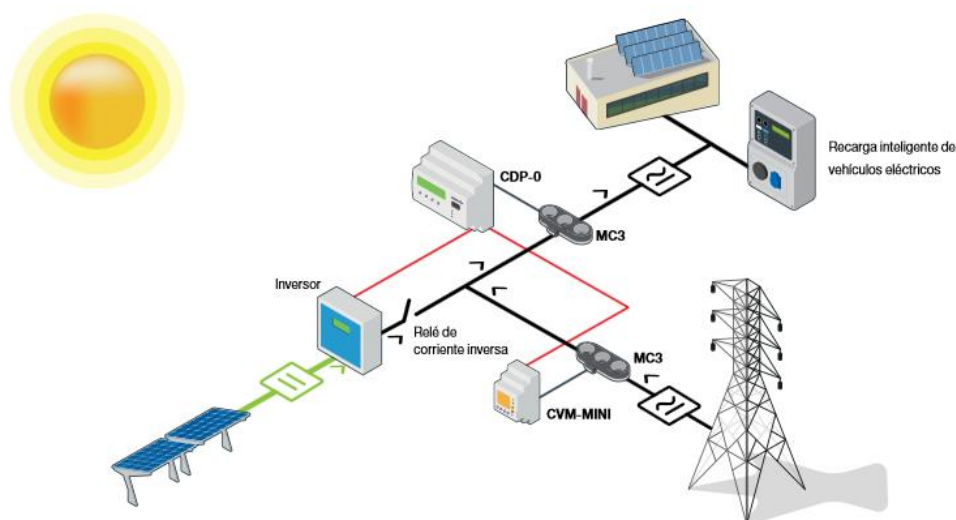


Fig. 6.1: Diagrama de l'instal·lació d'autoconsum instantani d'injecció zero [\[12\]](#)



Es disposarà cada instal·lació com en el diagrama mostrat (Fig. 6.1.). La quantitat d'inversors instal·lats variarà en funció de la potència (com més potència, més inversors). Els CVM-MINI són uns petits mesuradors de consum elèctric. Els MC3 són uns petits transformadors trifàsics necessaris per aconseguir, mitjançant l'augment de tensió, el transport del corrent altern als consumidors o a la xarxa elèctrica.

En aquest projecte la motivació principal per implantar les estacions de recarrega de vehicles elèctrics es obtenir un benefici gràcies a la venda d'energia que millori la rendibilitat a llarg termini de la instal·lació. A més, permet animar als treballadors i usuaris a utilitzar mètodes de transport nets amb energia renovable i independent de combustibles fòssils.

## 6.2. Components del sistema fotovoltaic

En aquest apartat només s'especificaran els components més importants de la instal·lació deixant de banda els fils elèctrics, díodes i demés components. És important però no perdre'ls de vista ja que cada un d'ells té la seva funció.

### 6.2.1. Mòdul solar

El mòdul solar és l'element de generació elèctrica de la instal·lació i doncs n'és l'element principal de la instal·lació. Tot girarà al voltant dels mòduls i per això és important que siguin de qualitat. Malauradament però, degut a la crisi econòmica dels darrers anys i a l'estratègia de dumping provinent del mercat xinès, les ja poques empreses que venien aquest producte són encara més escasses.

Finalment, s'ha decidit optar per el fabricant italià Gioco Solutions [\[13\]](#) i el seu model GSP145 [ANNEX C] (Fig. 6.2) que té un preu de 255.02€ (incl. IVA) per mòdul. Com que Gioco Solutions està ubicada dins de la Unió Europea no caldrà afegir les taxes d'importació al preu dels mòduls.

Dimensions GSP145		Característiques elèctriques GSP145	
Alçada	1530 mm	Potència nominal, $P_{\max}$ [W]	147,36
Amplada	680 mm	Eficiència	14,38%
Profunditat	1,5 mm	Tensió a potència màxima, $V_{mp}$ [V]	18,75
Pes	2,60 kg	Intensitat a potència màxima, $I_{mp}$ [A]	7,87
		Tensió de buit, $V_{oc}$ [V]	22,32
		Intensitat de curtcircuit, $I_{sc}$ [A]	8,16

Taula 6.1: Característiques del mòdul fotovoltaic GSP145



Fig. 6.2: Mòdul fotovoltaic GSP145

Per calcular l'àrea real que ocupa cada mòdul s'ha de pensar en l'espai que cada un d'aquests ha de deixar com a espai lliure a les cobertes. Aquest espai lliure serveix bàsicament al muntatge i instal·lació i més endavant al manteniment que hi puguin haver. Per calcular-lo, s'ha pensat deixar un passadís de com a mínim 40 cm per cada dos rengleres de mòduls.

Això augmenta l'àrea real de cada mòdul al voltant d'un 30%. Així doncs, l'àrea que es considera per a cada mòdul és:

$$A_m = 1.530 * 0.680 * 1.3 = 1.353 \text{ m}^2$$

Com que les cobertes en aquest projecte són moltes i variades, s'ha decidit combinar dos tipus d'instal·lacions:

- Instal·lació de P=100kW. Ocupa una superfície mínima de 1850 m<sup>2</sup>.
- Instal·lació de P=20kW. Ocupa una superfície mínima de 370 m<sup>2</sup>.

A partir d'aquestes dades, s'ha calculat per a cada coberta el número d'instal·lacions per a cada modalitat, la superfície de coberta utilitzada i la potència instal·lada resultant. Els resultats es presenten a les següents taules (*Taula 6.2 i 6.3*) per CIM Selva i CIM Vallès respectivament.

	Coberta	Superfície Coberta Disponible [m2]	N° d'instal·lacions		Superfície Coberta Utilitzada [m2]	Potència instal·lada [kW]
			20 kW	100 kW		
Parcel·la 2.1	A	5.229,64	2	5	5.150	540
	B	5.229,64	2	5	5.150	540
Parcel·la 2.2	A-B	2.317,83	2	2	2.300	240
Parcel·la 2.3	A	1.360,28	2	1	1.350	140
	B	1.360,28	2	1	1.350	140
	C	371,90	1	0	200	20
Parcel·la 3	A	5.361,24	3	5	5.350	560
	B	5.451,24	3	5	5.350	560
Parcel·la 4.1 & 4.2	A	3.485,78	3	3	3.450	360
	B	3.485,78	3	3	3.450	360
Parcel·la 4.3	A	488,93	2	0	400	40
	B	617,22	3	0	600	60
	C	261,90	1	0	200	20
	D	617,22	3	0	600	60
	E	488,93	2	0	400	40
	F	892,00	4	0	800	80
	G	265,54	1	0	200	20
	H	454,88	2	0	400	40
<b>TOTAL</b>		<b>37.740,21</b>	<b>41</b>	<b>30</b>	<b>36.700</b>	<b>3.820</b>

*Taula 6.2: Instal·lacions i potència total a considerar a CIM Selva*

	Coberta	Superfície Coberta Disponible [m2]	N° d'instal·lacions		Superfície Coberta Utilitzada [m2]	Potència instal·lada [kW]
			20 kW	100 kW		
Parcel·la 1	A	1.280,27	1	1	1.150	120
	B	1.761,22	4	1	1.750	180
Parcel·la 2	A	6.926,72	1	7	6.850	720
	B	6.926,72	1	7	6.850	720
	C	3.445,35	2	3	3.250	340
	D	3.400,35	2	3	3.250	340
Parcel·la 3	A	3.498,18	3	3	3.450	360
	B	3.521,93	3	3	3.450	360
	C	1.848,83	4	1	1.750	180
	D	3.498,18	3	3	3.450	360
Parcel·la 4	A	3.090,76	1	3	3.050	320
	B	3.057,72	1	3	3.050	320
	C	1.111,61	0	1	950	100
	D	1.142,42	0	1	950	100
Parcel·la 5	A	1.963,27	0	2	1.900	200
	B	1.963,27	0	2	1.900	200
Parcel·la 6	A	1.941,41	0	2	1.900	200
	B	1.941,41	0	2	1.900	200
	C	1.029,53	0	1	950	100
Parcel·la 7	A	6.365,28	3	6	6.300	660
	B	6.382,70	3	6	6.300	660
Parcel·la 8	A	5.558,86	4	5	5.550	580
	B	5.160,76	2	5	5.150	540
Parcel·la 9	A	4.336,04	2	4	4.200	440
	B	4.336,04	2	4	4.200	440
	C	857,70	4	0	800	80
Parcel·la 10	A	4.027,35	1	4	4.000	420
	B	4.027,35	1	4	4.000	420
	C	699,75	3	0	600	60
Parcel·la 11	A	8.490,92	4	8	8.400	880
	B	8.547,69	4	8	8.400	880
Parcel·la 12	A	8.422,42	4	8	8.400	880
	B	8.422,42	4	8	8.400	880
<b>TOTAL</b>		<b>128.984,42</b>	<b>67</b>	<b>119</b>	<b>126.450</b>	<b>13.240</b>

Taula 6.3: Instal·lacions i potència total a considerar a CIM Vallès

### 6.2.2. Inversor

Les instal·lacions que s'implementen tindran potències de sortida de fins a 100 kW, es considera doncs sempre com a instal·lació de petita potència. Com que la instal·lació podria estar connectada a la xarxa, es fa l'elecció d'un inversor trifàsic i es tria que la seva potència de sortida sigui de 10 kW que serà un factor comú de les instal·lacions que s'implementaran (20 kW i 100 kW). La marca triada és Fronius, una empresa amb experiència amb inversors específicament dissenyats per la energia solar. Es tria doncs l'inversor IG Plus V-3 [Annex C], un model de potència CA de sortida de 10kW, que a més actua de regulador protegit de sobrecarregues l'acumulador (en el cas que se'n instal·lés un, no és el nostre cas). Tot seguit es detallen els aspectes tècnics més importants.

Fronius IG Plus 120 V-3			
Dades d'entrada		Dades de Sortida	
Pmax (cos $\varphi=1$ )	10,59 kW	Pn CA	10 kW
I <sub>max</sub>	46,2 A	I <sub>max</sub>	14,5 A
V <sub>max</sub>	600 V	Pmax	10 kVA
Rang de Tensió	230-500 V	Tensió	400 V
I <sub>cc</sub> màx per sèrie	69,3 A	Freqüència	50/60 Hz
Dades generals			
Eficiència màx		95,90%	
Factor potència		0,75-1	
Consum nocturn		<1W	

Taula 6.4: Principals característiques de l'inversor Fronius IG Plus 120 V-3

### 6.2.3. Controlador Dinàmic de Potència

Per controlar que la injecció a xarxa es mantingui a zero s'ha d'acoblar a cada instal·lació un Controlador Dinàmic de Potència CDP-0 de Circutor. En funció del consum de la instal·lació, el CDP-0 regula l'energia generada per l'inversor en corrent altern. El Controlador Dinàmic de Potència permet:

- Regulació de forma dinàmica de la potència generada amb la potència demanada, aconseguint així la no injecció a xarxa.
- Mesurament i registre de dades de paràmetres elèctrics en temps real, dels consums de la instal·lació i de l'energia d'entrada de la xarxa elèctrica.
- Servidor web que permet monitoritzar i emmagatzemar dades dels paràmetres principals de la instal·lació solar de forma local i remota.
- Descarrega de dades històriques de funcionament indicant les dates d'inici i final. Les dades s'obtenen en un fitxer amb format compatible amb les fulles de càlcul

- Control sobre el relé de potencia inversa, de forma que afegeix una seguretat redundant que garanteix la injecció zero a la xarxa, segons el requeriment d'algunes companyies distribuïdores.

#### **6.2.4. Analitzador de xarxes trifàsic (CVM-Mini)**

Per les instal·lacions trifàsiques com les proposades en aquest projecte es necessita la mesura de l'energia subministrada per la xarxa elèctrica. Això s'aconsegueix mitjançant la utilització d'un analitzador de xarxes trifàsic. Aquest analitzador té, entre altres propietats, la capacitat d'ensenyar per la pantalla els valors instantanis dels principals paràmetres elèctrics per a que l'usuari els pugui monitoritzar in situ. A més disposa d'un port de comunicacions que permet al controlador CDP utilitzar aquestes dades per fer una gestió adequada de la generació fotovoltaica.

#### **6.2.5. Transformador de corrent eficient (MC3)**

Els transformadors eficients permeten monitoritzar la intensitat en la part de corrent altern amb un consum i unes pèrdues inferiors als transformadors de corrent estàndards. Això facilita la mesura en moltes instal·lacions on l'espai de quadres és reduït.

Per les instal·lacions de 20 kW i 100 kW s'utilitzarà el MC3 de 125 A.

#### **6.2.6. Proteccions de sobre tensió**

Per a tota instal·lació elèctrica és necessari un mínim de protecció tant en la part de corrent continu com a la de corrent altern. Circutor ofereix proteccions de sobretensions que assegurin la instal·lació fotovoltaica en cas de descarregues atmosfèriques com els llamps (sobretensió transitòria) i sobretensions permanents generades a la xarxa de distribució.

Cada instal·lació tindrà una protecció contra sobretensions transitòries de dos tipus. Primer, el dispositiu PSM3-40/1000 PV, una protecció de corrent continu amb una  $U_{oc} \text{ màx} = 1000 \text{ V}$  per cada entrada d'inversió. El segon tipus és el dispositiu PSM4-40/400 TNS IR, una protecció contra sobretensions per el circuit de corrent altern, connectat en trifàsic amb una tensió nominal  $U_N=230/400 \text{ V}$ . D'aquest tipus només n'hi haurà un per instal·lació.

### **6.3. Configuració de les instal·lacions**

Primer de tot es definiran els diferents tipus d'instal·lació mitjançant un dimensionament dels grups d'inversors. La potencia màxima d'instal·lació no superarà els 100 kW en aquest projecte. L'inversor seleccionat té una potencia de 10 kW i en les consideracions prèvies s'han

definit 2 tipus d'instal·lació (20 kW i 100 kW) múltiples de 10kW. Així doncs, els inversors s'agruparan de la següent manera depenent de cada instal·lació:

- Instal·lació de 20 kW: 2 inversors
- Instal·lació de 100 kW: 10 inversors

El següent punt a tenir en compte per el dimensionament correcte és la temperatura de treball dels mòduls, que serà variable en funció de factors com l'estació de l'any, el clima o l'horari. La temperatura influeix en els paràmetres principals d'una cèl·lula solar: la intensitat de curtcircuit ( $I_{CC}$ ), la tensió en circuit obert ( $V_{CA}$ ) i la potència ( $P$ ). El valor d'aquestes constants es pot extreure de la fitxa tècnica dels mòduls solars. Coneixent el valor d'aquestes constants es podria saber com variaran les característiques dels mòduls en funció de la seva temperatura, aplicant les següents fórmules:

$$V_{T_{real}} = V_{25^{\circ}C} + \frac{T_{K(V_{CA})} \times (T_{real} - 25^{\circ}C)}{1000} \quad (Eq. 6.1)$$

$$I_{T_{real}} = I_{25^{\circ}C} \times \left(1 + \frac{T_{K(I_{CC})} \times (T_{real} - 25^{\circ}C)}{1000}\right) \quad (Eq. 6.2)$$

$$P_{T_{real}} = P_{25^{\circ}C} \times \left(1 + \frac{T_{K(P)} \times (T_{real} - 25^{\circ}C)}{1000}\right) \quad (Eq. 6.3)$$

En el nostre cas, la fitxa tècnica del mòdul fotovoltaic ens dona les constants de temperatura per a circuit obert i curtcircuit, ja que són els valors crítics amb els que realitzen el càlculs. A més ens dona una altre fórmula per arribar a les constants de temperatura. Les equacions ens serveixen també per calcular la tensió en el punt de màxima potència ( $V_{PMP}$ ) i el corrent en el punt de màxima potència ( $I_{PMP}$ ).

Els polígons industrials d'aquest projecte estan situats a Catalunya, per això es considera que la temperatura a la qual poden arribar les cèl·lules fotovoltaïques oscil·la en  $-10^{\circ}C$  i  $70^{\circ}C$  com a valors extrems (els mòduls fotovoltaïcs es poden escalfar fins a  $30^{\circ}C$  més que la temperatura ambient). Amb aquest valors extrems s'obtenen els resultats següents per a condicions estàndard:

GSP 145			
T ( $^{\circ}C$ )	25	70	-10
VCA (V)	22,32	22,17	22,44
VPMP (V)	18,75	18,60	18,87
ICC (A)	8,16	8,18	8,17
P(W)	145,00	144,79	145,16

Taula 6.5: Paràmetres del mòdul GDP145 en funció de la temperatura

Per dimensionar la disposició dels mòduls generadors d'energia elèctrica s'ha de respectar el rang de tensió mínima i màxima d'entrada de l'inversor amb el que es treballa. La tensió de generació fotovoltaica s'ha d'aproximar el màxim possible al valor màxim de tensió d'entrada de l'inversor per obtenir un rendiment major d'aquest.

Primer es calcularà el número màxim de mòduls en sèrie que admet l'inversor. Per això es calculen dos casos:

- Cas 1: Dividir la tensió màxima d'entrada de l'inversor per el valor en circuit obert a temperatura -10°C, ja que és el valor més gran obtingut per aquesta tensió entre els extrems de temperatura considerats.

$$N^{\circ}_{maxSerie1} = \frac{V_{CCmax}}{V_{CA(-10^{\circ}C)}} \quad (Eq. 6.4)$$

- Cas 2: Dividir el valor màxim del rang de tensions d'entrada de l'inversor per la tensió del punt de màxima potencia a -10°C, ja que és el valor més gran obtingut per aquesta tensió entre els extrems considerats.

$$N^{\circ}_{maxSerie2} = \frac{V_{FVsup}}{V_{MP(-10^{\circ}C)}} \quad (Eq. 6.5)$$

D'aquests dos casos es selecciona el resultat menor.

Per calcular el valor mínim de mòduls en sèrie es divideix el valor mínim del rang de tensions d'entrada de l'inversor per la tensió de potencia màxima a temperatura de 70°C (valor més petit d'aquesta tensió entre els extrems de temperatura considerats). La instal·lació només serà vàlida si aquest valor és inferior al numero màxim de mòduls en sèrie calculades.

$$N^{\circ}_{minSerie} = \frac{V_{FVinf}}{V_{MP(70^{\circ}C)}} \quad (Eq. 6.6)$$

I finalment es calcula el número de branques dels mòduls a connectar en paral·lel, aproximant la potencia generada al màxim de potencia d'entrada que admet l'inversor, procurant no sobrepassar-la. És a dir dividint aquesta màxima potencia d'entrada admissible per la potencia d'una fila en sèrie (potencia a -10°C, el valor més alt, per el números de mòduls en sèrie).

$$N^{\circ}_{Paral·lel} = \frac{P_{max}}{N^{\circ}_{Serie} \times P_{(-10^{\circ}C)}} \quad (Eq. 6.7)$$

Els valors finals es poden consultar en la següent taula:



	Càlcul	Valor Considerat
Nº màx Sèrie (Cas 1)	26,74	26
Nº max Sèrie (Cas 2)	26,50	26
Nº màx Sèrie (Mínim)	-	26
Nº min Sèrie	12,36	12
Nº Branques paral·lel	6,08	6

*Taula 6.6: Número de mòduls segons la seva disposició en sèrie i paral·lel*

Per acabar es comprova que les intensitats de les branques en paral·lel no sobrepassin la intensitat màxima d'entrada de l'inversor. Pel càlcul es considera  $I_{CC}$  a 70°C (temperatura a la qual sobre la  $I_{CC}$  més alta) i es multiplicarà pel número de branques en paral·lel per conèixer els valors crítics.

Nº Branques	$I_{CC}$ (70°C) [A]	$I_{entrada}$ [A]
4	8,18	32,70
5	8,18	40,88
6	8,18	49,06

*Taula 6.7: Intensitat d'entrada a l'inversor en funció del nº de branques*

Es recorda que l'inversor té una  $I_{max}$  d'entrada de 46,2 A. S'observa doncs que tot i que l'inversor admet fins a 6 branques en paral·lel amb el càlcul de potència màxima d'entrada de l'inversor, el càlcul de la intensitat màxima d'entrada de l'inversor és el que limita el número màxim de branques en paral·lel.

Així doncs, la disposició queda que per a cada inversor hi hauran 5 branques paral·leles de 26 mòduls fotovoltaïcs en sèrie cadascuna, un total de 130 mòduls per inversor. Per exemple, una instal·lació de 100kW tindrà 10 inversors i 1300 mòduls. En la següent taula es pot veure com queda la disposició de mòduls per les instal·lacions de 20 kW i 100 kW.

	Instal·lació	
	20 kW	100 kW
Nº Inversors	2	10
Nº Paral·lel	5	5
Nº Sèrie	13	13
Total mòduls	130	650
$P_{nom}$ [W]	18.850	94.250

*Taula 6.8: Configuració sèrie-paral·lel de les instal·lacions*

Per acabar es mostra una taula-resum de les dades i els càlculs realitzats fins ara per el CIM Selva i CIM Vallès respectivament:

	Coberta	Superfície Coberta Disponible [m2]	N° d'instal·lacions		Superfície Coberta Utilitzada [m2]	Potència instal·lada [kW]	Potència útil [kW]
			20 kW	100 kW			
Parcel·la 2.1	A	5.229,64	2	5	5.150	540	508,95
	B	5.229,64	2	5	5.150	540	508,95
Parcel·la 2.2	A-B	2.317,83	2	2	2.300	240	226,20
Parcel·la 2.3	A	1.360,28	2	1	1.350	140	131,95
	B	1.360,28	2	1	1.350	140	131,95
	C	371,90	1	0	200	20	18,85
Parcel·la 3	A	5.361,24	3	5	5.350	560	527,80
	B	5.451,24	3	5	5.350	560	527,80
Parcel·la 4.1 & 4.2	A	3.485,78	3	3	3.450	360	339,30
	B	3.485,78	3	3	3.450	360	339,30
Parcel·la 4.3	A	488,93	2	0	400	40	37,70
	B	617,22	3	0	600	60	56,55
	C	261,90	1	0	200	20	18,85
	D	617,22	3	0	600	60	56,55
	E	488,93	2	0	400	40	37,70
	F	892,00	4	0	800	80	75,40
	G	265,54	1	0	200	20	18,85
	H	454,88	2	0	400	40	37,70
TOTAL		37.740,21	41	30	36.700	3.820	3.600,35

Taula 6.9: Resum de les plantes, superfícies, instal·lacions i potències CIM Selva

	Coberta	Superfície Coberta Disponible [m2]	N° d'instal·lacions		Superfície Coberta Utilitzada [m2]	Potència instal·lada [kW]	Potència útil [kW]
			20 kW	100 kW			
Parcel·la 1	A	1.280,27	1	1	1.150	120	113,10
	B	1.761,22	4	1	1.750	180	169,65
Parcel·la 2	A	6.926,72	1	7	6.850	720	678,60
	B	6.926,72	1	7	6.850	720	678,60
	C	3.445,35	2	3	3.250	340	320,45
	D	3.400,35	2	3	3.250	340	320,45
Parcel·la 3	A	3.498,18	3	3	3.450	360	339,30
	B	3.521,93	3	3	3.450	360	339,30
	C	1.848,83	4	1	1.750	180	169,65
	D	3.498,18	3	3	3.450	360	339,30
Parcel·la 4	A	3.090,76	1	3	3.050	320	301,60
	B	3.057,72	1	3	3.050	320	301,60
	C	1.111,61	0	1	950	100	94,25
	D	1.142,42	0	1	950	100	94,25
Parcel·la 5	A	1.963,27	0	2	1.900	200	188,50
	B	1.963,27	0	2	1.900	200	188,50
Parcel·la 6	A	1.941,41	0	2	1.900	200	188,50
	B	1.941,41	0	2	1.900	200	188,50
	C	1.029,53	0	1	950	100	94,25
Parcel·la 7	A	6.365,28	3	6	6.300	660	622,05
	B	6.382,70	3	6	6.300	660	622,05
Parcel·la 8	A	5.558,86	4	5	5.550	580	546,65
	B	5.160,76	2	5	5.150	540	508,95
Parcel·la 9	A	4.336,04	2	4	4.200	440	414,70
	B	4.336,04	2	4	4.200	440	414,70
	C	857,70	4	0	800	80	75,40
Parcel·la 10	A	4.027,35	1	4	4.000	420	395,85
	B	4.027,35	1	4	4.000	420	395,85
	C	699,75	3	0	600	60	56,55
Parcel·la 11	A	8.490,92	4	8	8.400	880	829,40
	B	8.547,69	4	8	8.400	880	829,40
Parcel·la 12	A	8.422,42	4	8	8.400	880	829,40
	B	8.422,42	4	8	8.400	880	829,40
TOTAL		128.984,42	67	119	126.450	13.240	12.478,70

Taula 6.10: Resum de les plantes, superfícies, instal·lacions i potències CIM Vallès

## 7. Estudi Energètic

L'estimació de l'energia produïda es calcula utilitzant la següent equació extreta del plec de condicions tècniques per a instal·lacions connectades de l'IDAE [\[14\]](#)

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{mp} \cdot PR}{G_{CEM}} \quad (Eq. 7.1)$$

On:

$G_{dm}(\alpha, \beta)$  Valor mig mensual i anual de la irradiació diària sobre el pla del generador en kWh/(m<sup>2</sup>·dia) on el paràmetre  $\alpha$  representa l'azimut i el  $\beta$  la inclinació del generador respecte a l'horitzontal

$P_{mp}$  Potència pic del generador (kW<sub>p</sub>)

$PR$  Rendiment energètic de la instal·lació o "Performance Ratio"

$G_{CEM}$  Irradiació de referència per les condicions estàndard STC, de valor 1 kW/m<sup>2</sup>

Per obtenir les dades d'irradiació solar  $G_{dm}(\alpha, \beta)$  sobre el terreny dels dos polígons en qüestió, Annex D, s'ha utilitzat una eina proporcionada per la Comissió Europea [\[15\]](#). Es tracta d'una aplicació web que ens proporciona les dades d'irradiació de qualsevol lloc d'Europa introduint-hi les coordenades de longitud i latitud. Aquestes dades estan recollides a la Taula 6.2.

	Latitud	Longitud	Altitud [m]
CIM La Selva	41.899	2.769	148
CIM Vallès	41.539	2.188	61

Taula 7.1: Coordenades Geogràfiques i altitud dels polígons industrials

## 7.1. Càlcul de pèrdues

Per ajustar el valor final obtingut a la realitat, s'ha de calcular tot un seguit de pèrdues que influenciaran el valor final de l'energia obtinguda i que queden compreses dins del rendiment energètic de la instal·lació (PR).

Aquest factor considera les pèrdues en la eficiència energètica degudes a:

- Temperatura
- Cablejat
- Dispersió de paràmetres i brutícia
- Eficiència energètica de l'inversor
- Altres

$$PR (\%) = (100 - A - P_{temp}) \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \quad (Eq. 7.2)$$

### 7.1.1. Pèrdues degudes a la temperatura $P_{Temp}$

La temperatura de les cèl·lules solars s'eleva per sobre de la temperatura ambient de forma proporcional a la irradiància incident. Això té com a conseqüència una reducció del rendiment d'aquestes mateixes cèl·lules. En general, per a mòduls solars de capa fina es considera un pèrdua de rendiment d'un 4-5 % per cada 10° C d'augment de la temperatura d'operació.

Per calcular aquestes pèrdues per efecte de la temperatura s'utilitza el mètode proposat per el plec de condicions tècniques de l'IDAE [\[14\]](#) que ens proporciona les següents equacions:

$$T_c = T_a + \frac{(NOCT-20) \cdot E}{800} \quad (Eq. 7.3)$$

$$P_{Tc} = P_{25^{\circ}C} \cdot \left(1 + \frac{T_{K(P)} \cdot (T_c - 25^{\circ}C)}{100}\right) \quad (Eq. 7.4)$$

On:

- $T_c$  Temperatura de les cèl·lules solars en °C.
- $T_a$  Temperatura ambient a l'ombra el migdia solar en °C.
- NOCT Temperatura d'operació nominal del mòdul en °C (42°C segons el fabricant)
- $E$  Irradiància solar al migdia solar en  $W/m^2$
- $P_{Tc}$  Potència d'un mòdul considerant la temperatura real de les cèl·lules en W
- $P_{25^{\circ}C}$  Potència nominal d'un mòdul en CEM en W (145 W segons la fitxa tècnica del producte)
- $T_{K(P)}$  = -0.46%/°C (segons el fabricant)

Considerant els valors de la irradiància (E) i la temperatura ambient ( $T_a$ ) al migdia solar per a la província de Girona i Barcelona respectivament, s'obtenen les Taules 7.2 i 7.3:

Mes	Ta [°C]	E [W/m <sup>2</sup> ]	Tc [°C]	Ptc [W]	% Pèrdues
Gener	10,7	496	24,34	145,44	0,30
Febrer	11,7	573	27,46	143,36	-1,14
Març	14,6	564	30,11	141,59	-2,41
Abril	16,8	542	31,71	140,53	-3,18
Maig	20,4	558	35,75	137,83	-5,20
Juny	24,7	605	41,34	134,10	-8,13
Juliol	27,1	644	44,81	131,79	-10,03
Agost	27,3	623	44,43	132,04	-9,82
Setembre	23,6	594	39,94	135,04	-7,38
Octubre	20,1	536	34,84	138,44	-4,74
Novembre	14,6	508	28,57	142,62	-1,67
Desembre	11,2	477	24,32	145,46	0,31

*Taula 7.2: Pèrdues degudes a la Temperatura a CIM Selva*

Mes	Ta [°C]	E [W/m <sup>2</sup> ]	Tc [°C]	Ptc [W]	% Pèrdues
Gener	11,1	527	25,59	144,60	-0,27
Febrer	12,2	599	28,67	142,55	-1,72
Març	15,1	599	31,57	140,62	-3,12
Abril	17,4	597	33,82	139,12	-4,23
Maig	21	611	37,80	136,46	-6,26
Juny	25,3	657	43,37	132,75	-9,23
Juliol	27,7	712	47,28	130,14	-11,42
Agost	27,9	651	45,80	131,12	-10,58
Setembre	24,3	617	41,27	134,15	-8,09
Octubre	20,7	564	36,21	137,52	-5,44
Novembre	15	518	29,25	142,17	-1,99
Desembre	11,5	494	25,09	144,94	-0,04

*Taula 7.3: Pèrdues degudes a la Temperatura a CIM Vallès*

Cal remarcar que els mesos de Gener i Desembre al CIM Selva es consideren pèrdues nul·les.

### 7.1.2. Pèrdues per cablejat $P_1$

En aquest coeficient hi van ajuntades les pèrdues per cablejat tant de corrent continua com de corrent alterna principalment degudes a l'efecte Joule.

$$P_R = I^2 \cdot R_C \quad (\text{Eq. 7.5})$$

On  $P_R$  és la potència perduda i  $R_C$  és la resistència en Ohms del cablejat (la qual depèn en part de la seva longitud  $L$  i secció  $S$ ). En el plec de condicions tècniques de l'IDAE [\[14\]](#) s'especifica que en el cas de cablejat en corrent continua les pèrdues no han de superar el 1.5% i en el cas del cablejat en corrent alterna el 2%.

Com que l'objectiu del projecte no és dissenyar al detall tota la instal·lació elèctrica, es considerarà en el concepte de pèrdues per cablejat el valor recomanat en el plec de condicions tècniques de l'IDAE, és a dir el més restrictiu, un 2%.

### 7.1.3. Pèrdues degudes a la brutícia acumulada sobre els mòduls $P_2$

Aquestes pèrdues són intrínseques a l'energia solar fotovoltaica. El fet de que els mòduls estant a l'aire lliure per poder captar la irradiació del sol fa que inevitablement aquests s'embrutin per deposicions de pols o terres portades pel vent o la pluja. El plec de l'IDAE [\[14\]](#) fixa per aquestes pèrdues un valor mig anual no superiors al 3%.

En aquest cas s'han considerat unes pèrdues del 2% pel fet de que aquesta instal·lació està dissenyada amb mòduls de capa fina que s'adapten al pendent de les cobertes. I com que aquest no és massa elevat, això facilita les deposicions de pols i altre brutícia.

### 7.1.4. Pèrdues per inclinació i azimuth $P_3$

Tal i com s'ha explicat en l'apartat anterior, els mòduls s'adapten a la forma i inclinació de les cobertes de les naus. Degut a això, ni la orientació ni la inclinació seran les òptimes per aprofitar el 100% de la irradiació solar. El plec de condicions tècniques de l'IDAE [\[14\]](#) ens dona un mètode per calcular-ne l'impacte que aquests paràmetres tindran sobre el rendiment final utilitzant la Fig. 7.1.

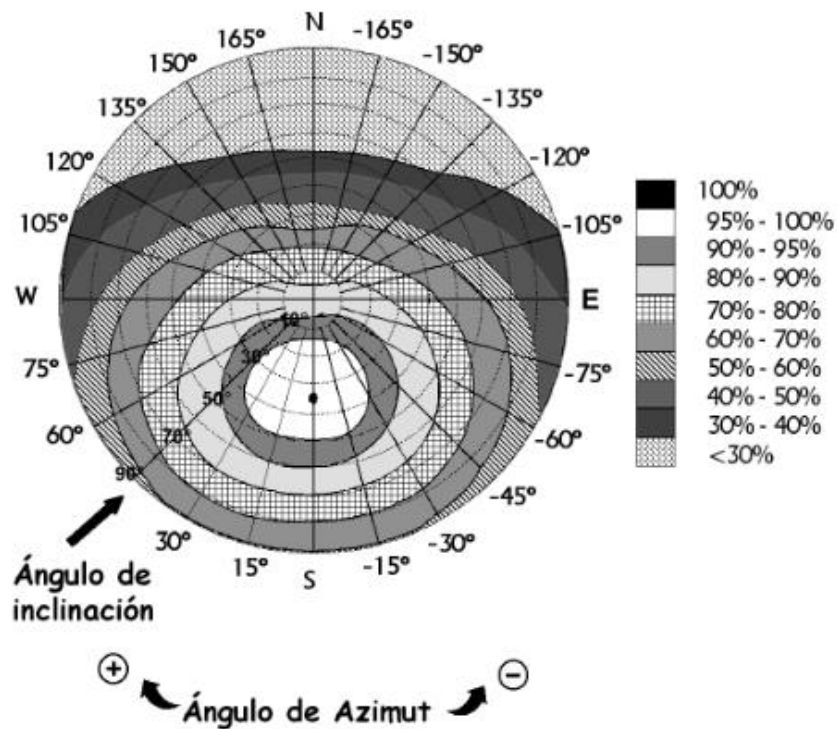


Fig. 7.1: Diagrama per calcular l'efecte de la inclinació i l'azimut en el rendiment final per instal·lacions situades a una latitud de 41°.

En el cas d'aquest projecte, s'ha utilitzat però l'eina de la comissió europea [\[15\]](#) per obtenir els valors de  $G_{dm}(\alpha, \beta)$  i s'han comprovat alguns resultats per veure si els dos mètodes eren coherents entre si. Així doncs aquestes pèrdues no s'inclouran al rendiment energètic de la instal·lació (PR) ja que ja estaran incloses en el valor de la irradiància agafada.

#### 7.1.5. Pèrdues degudes a l'inversor $P_4$

El rendiment de l'inversor considerat, l'inversor Fronius IG Plus, depèn de dos paràmetres o corbes característiques (Annex C): la potència de sortida normalitzada i la temperatura ambient. Quan aquests dos paràmetres augmenten, la corba de rendiment comença a disminuir. Per això es considera un valor mig per aproximar les pèrdues.

A la fitxa hi apareixen dos tipus de rendiments, el rendiment màxim de 95,9% i el rendiment europeu de 95,4%. El més representatiu del seu funcionament en condicions nominals és el rendiment europeu. Així doncs, les pèrdues degudes a l'inversor ( $P_4$ ) considerades seran del 4,6%.



### 7.1.6. Pèrdua per dispersió de paràmetres $P_5$

Aquestes pèrdues són degudes al fet de que els mòduls no són exactament idèntics l'un de l'altre i també al fet que aquests no operen en les condicions de laboratori en què han estat testats en CEM.

El valor que s'agafa és 2% que és el valor proposat per l'IDAE.

### 7.1.7. Pèrdues per ombrejat $P_6$

Tant la situació geogràfica de la CIM La Selva com la de la CIM Vallès fan que no hi hagi cap ombra d'edificis o altres estructures que puguin crear ombres sobre les cobertes. I com que per aquest projecte s'utilitzen uns mòduls fotovoltaïcs que es disposen directament sobre la coberta, aquest no es fan ombra entre ells. Així doncs, les pèrdues per ombrejat seran 0%.

### 7.1.8. Rendiment energètic de la instal·lació

Utilitzant l'Eq. 7.2 i les pèrdues explicades anteriorment, podem calcular el rendiment energètic de la instal·lació en funció dels mesos de l'any. Es poden veure els resultats pel CIM Selva i CIM Vallès en la següent taula:

Mes	$P_{Temp}$ (%)	$P_1$ (%)	$P_2$ (%)	$P_3$ (%)	$P_4$ (%)	$P_5$ (%)	$P_6$ (%)	PR (%)
Gener	0,00	2	2	-	4,6	2	0	89,40
Febrer	1,14	2	2	-	4,6	2	0	88,26
Març	2,41	2	2	-	4,6	2	0	86,99
Abril	3,18	2	2	-	4,6	2	0	86,22
Maig	5,20	2	2	-	4,6	2	0	84,20
Juny	8,13	2	2	-	4,6	2	0	81,27
Juliol	10,03	2	2	-	4,6	2	0	79,37
Agost	9,82	2	2	-	4,6	2	0	79,58
Setembre	7,38	2	2	-	4,6	2	0	82,02
Octubre	4,74	2	2	-	4,6	2	0	84,66
Novembre	1,67	2	2	-	4,6	2	0	87,73
Desembre	0,00	2	2	-	4,6	2	0	89,40

Taula 7.4: Percentatges de pèrdues i càlcul del rendiment energètic a CIM Selva

Mes	P <sub>Temp</sub> (%)	P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)	P4 (%)	P5 (%)	P6 (%)	PR (%)
Gener	0,27	2	2	-	4,6	2	0	89,13
Febrer	1,72	2	2	-	4,6	2	0	87,68
Març	3,12	2	2	-	4,6	2	0	86,28
Abril	4,23	2	2	-	4,6	2	0	85,17
Maig	6,26	2	2	-	4,6	2	0	83,14
Juny	9,23	2	2	-	4,6	2	0	80,17
Juliol	11,42	2	2	-	4,6	2	0	77,98
Agost	10,58	2	2	-	4,6	2	0	78,82
Setembre	8,09	2	2	-	4,6	2	0	81,31
Octubre	5,44	2	2	-	4,6	2	0	83,96
Novembre	1,99	2	2	-	4,6	2	0	87,41
Desembre	0,04	2	2	-	4,6	2	0	89,36

*Taula 7.5: Percentatges de pèrdues i càlcul del rendiment energètic a CIM Vallès*

## 7.2. Energia produïda

Un cop conegut el pes total de les pèrdues acumulades que s'han de considerar, ja es pot calcular l'energia diària produïda en funció del mes de l'any utilitzant l'Equació (Eq. 7.1). Tal com s'ha explicat abans, les dades de la irradiació  $G_{dm}(\alpha, \beta)$  s'obtenen de la web de la Comissió Europea [\[15\]](#) que ens retorna els valors amb les pèrdues per azimuth i inclinació ja incloses. Els valors per cada inclinació es poden trobar en l'Annex D.

Es presenta com a exemple una taula de l'energia produïda anual a les dues cobertes de la parcel·la 2.1 del CIM Selva:

Mes	$G_{dm,2.1A}$ (32,-148) [Wh/m <sup>2</sup> dia]	$G_{dm,2.1B}$ (212,32) [Wh/m <sup>2</sup> dia]	PR [%]	Dies	$E_{p100,2.1A}$ [kWh/mes]	$E_{p20,2.1A}$ [kWh/mes]	$E_{p100,2.1B}$ [kWh/mes]	$E_{p20,2.1B}$ [kWh/mes]
Gener	1.980	2.180	89,40	31	5.171,85	1.034,37	5.694,26	1.138,85
Febrer	2.930	3.150	88,26	28	6.824,24	1.364,85	7.336,64	1.467,33
Març	4.120	4.310	86,99	31	10.471,86	2.094,37	10.954,78	2.190,96
Abril	5.170	5.290	86,22	30	12.603,43	2.520,69	12.895,97	2.579,19
Maig	6.260	6.330	84,20	31	15.400,36	3.080,07	15.572,57	3.114,51
Juny	7.000	7.040	81,27	30	16.086,17	3.217,23	16.178,09	3.235,62
Juliol	6.970	7.020	79,37	31	16.164,14	3.232,83	16.280,10	3.256,02
Agost	6.030	6.140	79,58	31	14.021,15	2.804,23	14.276,93	2.855,39
Setembre	4.660	4.830	82,02	30	10.807,49	2.161,50	11.201,75	2.240,35
Octubre	3.240	3.440	84,66	31	8.014,22	1.602,84	8.508,92	1.701,78
Novembre	2.160	2.360	87,73	30	5.358,05	1.071,61	5.854,16	1.170,83
Desembre	1.820	2.020	89,40	31	4.753,92	950,78	5.276,33	1.055,27
TOTAL Energia Produïda Anual [kWh]					125.676,88	25.135,38	130.030,50	26.006,10

*Taula 7.6: Energia produïda anual a la parcel·la 2.1 del CIM Selva per tipus d'instal·lació*

Cada polígon no només té uns valors diferents d'azimut i inclinació però a més a més té un número diferent d'instal·lacions de 20 kW i 100 kW. Utilitzant tots els resultats dels anteriors capítols es calcula ara el total d'energia que es pot produir anualment a cada CIM.

	20 kW	100 kW	Potencia instal·lada [kW]	Potència útil [kW]	Ep (kWh/any)
CIM Selva	41	30	3.820	3.600,35	4.811.671,15
CIM Vallès	67	119	13.240	12.478,70	17.433.109,83
TOTAL	108	149	17.060	16.079,05	22.244.780,98

*Taula 7.7: Número d'instal·lacions i energia anual produïda a cada CIM*

Es pot concloure doncs que l'energia produïda pels mòduls fotovoltaïcs aprofitant les cobertes de les naus al CIM Selva i CIM Vallès és de 4.81 GWh/any i 17.43 GWh/any respectivament.

## 8. Aplicacions de l'energia produïda

En aquest apartat s'explicarà els usos que es creuen possibles per l'energia produïda pels mòduls fotovoltaics en funció de la demanda. Es proposen principalment dues aplicacions: l'autoconsum per part de les indústries dels CIM Selva i CIM Vallès, i l'alimentació d'una xarxa d'estacions de recàrrega de vehicles elèctrics.

### 8.1. Comparativa amb la demanda dels polígons

Es compararà l'energia produïda calculada a l'estudi energètic amb la demanda dels dos CIMs. Per conèixer la demanda, les empreses ens han subministrat els valors de les potències instal·lades però són valors antics i no complets. A les dades del CIM Vallès però, hi ha les hi ha una relació de  $40.92 \text{ W/m}^2$  de terreny edificat que és la que aplicarem per obtenir la demanda energètica dels CIM Selva i Vallès. Així doncs, per estimar l'energia consumida a l'any en kWh, es multiplicarà aquest potencia consumida per el número d'hores i dies laborables a l'any (12 hores/dia i 261 dies laborables/any). De la mateixa manera, com que no utilitzem bateries per l'acumulació d'energia, considerarem 261 dies per l'energia produïda. S'obté així la següent taula:

	Superfície construïda [m <sup>2</sup> ]	Potencia Consumada [W]	Energia Consumida [kWh/any]	Energia Produïda mòduls [kWh/any]	% de Demanda coberta
CIM Selva	47.469,84	1.942.465,73	6.083.802,65	3.440.674,44	56,55%
CIM Vallès	125.991,52	5.155.573,00	16.147.254,63	12.465.867,58	77,20%

*Taula 8.1: Percentatges de demanda coberta per l'energia produïda per els mòduls*

Tal i com es pot veure, la instal·lació fotovoltaica prevista no és suficient per cobrir la demanda energètica dels polígons. Tot i això, aconsegueixen a suplir una bona part del seu consum.

Una cop la inversió de les instal·lacions estigui amortitzada, l'energia obtinguda dels mòduls fotovoltaics representarà un gran estalvi de la factura elèctrica. A més, mitjançant una inversió addicional es pot obtenir un benefici extra que millori el payback a més a més de promocionar l'ús d'energia neta en forma de recarrega de vehicles elèctrics.

## 8.2. Ús per a la recarrega de vehicles elèctrics

Com ja s'ha comentat, per fomentar l'ús d'energia neta, aquest projecte implementarà les solucions d'autoconsum de l'empresa Circutor per aprofitar una part de l'energia produïda amb els mòduls fotovoltaïcs per utilitzar-la en una xarxa d'estacions de recarrega de vehicles elèctrics distribuïdes entre el CIM Selva i CIM Vallès.

Els objectius, com ja s'ha explicat, és millorar el payback de la inversió de les instal·lacions fotovoltaïques mitjançant la venda de l'energia a aquesta xarxa d'estacions de recarrega i a més incentivar l'ús d'energies netes en una zona amb un flux intens i constant de vehicles empresarials i industrials.

Es proposarà la instal·lació de 30 punts de recarrega, 10 al CIM Selva i 20 al CIM Vallès. S'utilitzarà com a referència el vehicle Nissan e-NV 200, una furgoneta d'ús majoritàriament empresarial i de transport industrial per estimar l'ús d'aquestes estacions.



*Fig. 8.1: Nissan e-NV 200 amb el connector J1772 de recarrega elèctrica a la part posterior*

L'e-NV 200 és un vehicle elèctric de tipus furgoneta amb dues modalitats existents, la furgoneta empresarial per càrregues voluminoses, el Combi empresarial pensat per passatgers. S'espera que s'utilitzin tots dos models. Les característiques elèctriques no canvien entre models:

- Motor AC síncron de 80kW
- Bateria de ions de liti de 360V (24kWh)
- Autonomia de 170 km segons NEDC

- Velocitat màxima de 123 km/h

La bateria del cotxe es carrega en 4 o 12 hores (en funció de la presa de corrent) a través del connector J1772 instal·lat a la part posterior. Existeix també un mode de carrega rapida (CHAdEMO) que permet carregar el 80% de la bateria en 30 minuts.

Carregador	Potencia [kW]	Intensitat [A]	Hores
EVSE subministrat	2,3	10	12
WallBox Pulsar 32A	7,4	32	4
CHAdEMO	50	100	0,7

*Taula 8.2: Paràmetres principals segons el tipus de carregador per el e-NV 200*

La millor opció per rendiment i preu és el model WallBox Pulsar ja que el temps de càrrega no és massa alt i estan disponibles a un preu raonable. 30 estacions WallBox repartides de forma homogènia complirien la demanda de com a mínim 30 vehicles diaris. La recàrrega es realitzaria durant la jornada laboral durant les hores de sol.

Segons la seva pàgina web, el preu del punt de recàrrega Wallbox Pulsar és de 798,60 €. S'hi ha d'afegir a més a més els costos de tramitació i instal·lació a la via pública (uns 300€). Això faria que el cost total unitari seria de 1200€ i el cost total de 36.000€.

Suposant que 30 vehicles estiguin connectats durant 4 hores cada dia a les 30 estacions de recàrrega durant 261 dies laborables l'any, es calcula que l'energia consumida anual seria:

$$E_{cons,Selva} = 7,4 \text{ kW} \times 4 \text{ h} \times 10 \times 261 \text{ dies/any} = 77.256 \text{ kWh/any} \quad (\text{Eq. 8.1})$$

$$E_{cons,Vallès} = 7,4 \text{ kW} \times 4 \text{ h} \times 20 \times 261 \text{ dies/any} = 154.512 \text{ kWh/any} \quad (\text{Eq. 8.2})$$

Aquests consums respecte a l'energia produïda a cada CIM només representa un 2,25% al CIM Selva i un 1.24% al CIM Vallès.

## 9. Estudi Econòmic

### 9.1. Introducció

Com ja s'ha explicat anteriorment, des del 2011 existeix el RD 1699/2011 [\[7\]](#) que permet l'autoabastiment al propietari de la instal·lació sempre i quant aquesta sigui inferior a 100kW. Gràcies això s'aconsegueix una gran reducció de la factura elèctrica. Malauradament, l'any 2012 es va suspendre les primes per instal·lacions de producció d'energia elèctrica de fonts d'energia (RD-L 1/2012) [\[3\]](#). S'ha de tenir en compte també els "peajes de respaldo" del RD 900/2015 [\[9\]](#).

Es considera que els dos CIMs són els que inverteixen en la construcció d'aquestes instal·lacions i alhora els que es beneficien de l'energia produïda per els mòduls fotovoltaïcs. Cada empresa és el seu propi gestor energètic i per tant assumeix els seus costos i beneficis.

A l'estudi econòmic s'estima una vida útil de les instal·lacions projectades de 30 anys i es definirà la inversió inicial de les instal·lacions i els costos anuals de l'energia i manteniment. Després es calcularà l'estalvi que suposa en aquests costos l'inici d'ús de les instal·lacions en el primer any i els guanys per venda d'electricitat mitjançant les estacions de recarrega instal·lades. El quadre de resultats realitzat a continuació servirà per conèixer el període de retorn de la inversió.

### 9.2. Costos

#### 9.2.1. Inversió inicial

Tot seguit es detalla el pressupost per les instal·lacions de 20 kW i 100 kW. Els preus i costos aquí representats s'han rebut de les diferents empreses contactades i contrastats amb altres projectes similars.

1. Equip principal					
Referencia	Concepte	Preu unitari	Unitats	Quantitat	Preu total [€]
1.01	Mòdul GSP 145 (IVA incl)	255,02	€/u	130	33.152,55
Total 1					33.152,55
2. Inversor, cablejat, connexions i proteccions					
Referencia	Concepte	Preu unitari	Unitats	Quantitat	Preu total [€]
2.01	Inversor Fronius IG Plus 120V-3			2	
2.02	CDP-0			1	
2.03	Transformador MC3-63 Amp.			2	
2.04	Analitzador de xarxes CVM-Mini			1	
2.05	COM-CARD Fronius IG			2	
2.06	Cable Com. Inversor RJ45/CDP-0			1	
2.07	Cable RJ 45-RJ 45			1	
2.08	PSM3-40/1000 PV IR			2	
2.09	PSM3-40/400 TNS IR			1	
2.10	Connector DC Fronius IG-Plus			2	
Total 2					5.993,29
Enginyeria i obra civil					
Referencia	Concepte	Preu unitari	Unitats	Quantitat	Preu total [€]
3.01	Projecte instal·lació 10 kW	0,12	€/W	20000	2.400,00
3.02	Llicència d'obres	1.415,31	€/u	1	1.415,31
3.03	Obra civil	180,00	€/kW	20	3.600,00
3.04	Seguretat i salut	1.136,40	€/u	1	1.136,40
3.05	Imprevistos	4.752,00	€/u	1	4.752,00
Total 3					13.303,71
4. Costos generals connexió a la xarxa de BT					
Referencia	Concepte	Preu unitari	Unitats	Quantitat	Preu total [€]
4.01	Obra punt de connexió	3.134,00	€/u	1	3.134,00
Total 4					3.134,00
TOTAL INSTAL·LACIO 20kW					55.583,55

Taula 9.1: Pressupost d'una instal·lació de 20 kW



1. Equip principal					
Referencia	Concepte	Preu unitari	Unitats	Quantitat	Preu total [€]
1.01	Mòdul GSP 145 (IVA incl)	255,02	€/u	650	165.762,74
Total 1					165.762,74
2. Inversor, cablejat, connexions i proteccions					
Referencia	Concepte	Preu unitari	Unitats	Quantitat	Preu total [€]
2.01	Inversor Fronius IG Plus 120V-3			10	
2.02	CDP-0			1	
2.03	Transformador MC3-63 Amp.			2	
2.04	Analitzador de xarxes CVM-Mini			1	
2.05	COM-CARD Fronius IG			10	
2.06	Cable Com. Inversor RJ45/CDP-0			1	
2.07	Cable RJ 45-RJ 45			9	
2.08	PSM3-40/1000 PV IR			10	
2.09	PSM3-40/400 TNS IR			1	
2.10	Connector DC Fronius IG-Plus			10	
Total 2					28.397,42
Enginyeria i obra civil					
Referencia	Concepte	Preu unitari	Unitats	Quantitat	Preu total [€]
3.01	Projecte instal·lació 10 kW	0,12	€/W	100000	12.000,00
3.02	Llicència d'obres	4.717,70	€/u	1	4.717,70
3.03	Obra civil	180,00	€/kW	100	18.000,00
3.04	Seguretat i salut	2.894,00	€/u	1	2.894,00
3.05	Imprevistos	15.000,00	€/u	1	15.000,00
Total 3					52.611,70
4. Costos generals connexió a la xarxa de BT					
Referencia	Concepte	Preu unitari	Unitats	Quantitat	Preu total [€]
4.01	Obra punt de connexió	4.334,00	€/u	1	4.334,00
Total 4					4.334,00
TOTAL INSTAL·LACIÓ 100kW					251.105,86

Taula 9.2: Pressupost d'una instal·lació de 100 kW

Multiplicant el pressupost de cada instal·lació pel número d'aquestes s'obté el cost de la inversió total en instal·lacions a cada CIM. A aquests costos s'hi ha d'afegir els costos de les 30 estacions de recàrrega de vehicles elèctrics (1200€ per estació) així com el cost del treball d'enginyeria fet per l'enginyer en cap del projecte, de 30€/h per 350 hores aproximades de feina.

CIM Selva				
Tipus Inst.	Preu unitari	Unitats	Quantitat	Cost Total [€]
20 kW	55.583,55	€/u	41	2.278.925,47
100 kW	251.105,86	€/u	30	7.533.175,80
Est. Recàrrega	1.200,00	€/u	10	12.000,00
Total 1				9.824.101,27
CIM Vallès				
Tipus Inst.	Preu unitari	Unitats	Quantitat	Cost Total [€]
20 kW	55.583,55	€/u	67	3.724.097,72
100 kW	251.105,86	€/u	119	29.881.597,34
Est. Recàrrega	1.200,00	€/u	20	24.000,00
Total 2				33.629.695,06
Cost Enginyeria	30,00	€/h	350	10.500,00
TOTAL INVERSIÓ				43.464.296,32

Taula 9.2: Inversió inicial al CIM Selva i CIM Vallès

### 9.2.2. Costos de manteniment

Segons el National Renewable Energy Laboratory [\[16\]](#) el manteniment d'una instal·lació fotovoltaica de mitja a gran escala suposa un cost aproximat de 15€/kW. Aplicant aquest preu a cada una de les instal·lacions proposades obtenim la següent taula:

CIM Selva			
Tipus Inst.	Preu unitari	Quantitat	Cost Total [€]
20 kW	300,00	41	12.300,00
100 kW	1.500,00	30	45.000,00
Total 1			57.300,00
CIM Vallès			
Tipus Inst.	Preu unitari	Quantitat	Cost Total [€]
20 kW	300,00	67	20.100,00
100 kW	1.500,00	119	178.500,00
Total 2			198.600,00
TOTAL COST			255.900,00

Taula 9.3: Costos de manteniment

Aquest costos inclouen la neteja mensual i la inspecció anual dels mòduls per reduir les pèrdues per pols.

### 9.2.3. Cost de l'energia consumida

El preu de l'electricitat actualment varia en funció del tipus de tarifa contractada. Per aquest estudi s'utilitza un preu mitjà de 0.1436 €/kWh, on s'hi ha inclòs l'impost elèctric i l'IVA i que s'ha extret de fer una mitja dels diferents preus segons les diferents companyies [17]. Aquest preu mitjà ens permet calcular el cost anual de la factura elèctrica i així veure el possible estalvi que es deriva de l'aplicació d'aquest projecte.

	Energia Consumida [kWh/any]	Factura anual [€]
CIM Selva	6.083.802,65	873.634,06
CIM Vallès	16.147.254,63	2.318.745,77
TOTAL	22.231.057,28	3.192.379,83

Taula 9.5: Factura anual de l'energia consumida

## 9.3. Guanyys

### 9.3.1. Venda d'electricitat a les estacions de recàrrega

Tal i com s'ha calculat anteriorment, les 30 estacions de recàrrega per a vehicles elèctrics que proporcionarien 231.768 kWh/any. Per determinar el preu al qual podem vendre aquesta electricitat a les estacions de recàrrega, es decideix agafar al preu que nosaltres la compràrem al mercat afegint-hi l'impost elèctric (5.11%) i l'IVA (21%), obtenint així un preu de venda de 0.181 €/kWh.

Fent el càlcul, s'obté doncs que els guanyys per la venda d'electricitat a través de les estacions de recàrrega seria de 41.973 €/any. Aquest benefici cobreix ja tota la inversió de les estacions de recàrrega en el primer any.

### 9.3.2. Import estalviat

L'energia que produiran les instal·lacions fotovoltaïques a partir del primer any és energia estalviada en la factura elèctrica. Això farà que la factura elèctrica anual es redueixi. Per calcular l'import estalviat, s'ha de sotraure al preu de l'electricitat la part variable del peatge de recolzament que per instal·lacions mitjanes grans però inferiors a 100kW és de 0.029399 €/kW.

	Energia Consumida [kWh/any]	Factura anual [€]	Energia Produïda mòduls [kWh/any]	Import Estalviat [€]	Total a pagar [€]
CIM Selva	6.083.802,65	873.634,06	3.440.674,44	392.928,46	480.705,60
CIM Vallès	16.147.254,63	2.318.745,77	12.465.867,58	1.423.614,54	895.131,22
TOTAL	22.231.057,28	3.192.379,83	15.906.542,02	1.816.543,00	1.375.836,82

*Taula 9.6: Import total estalviat i factura elèctrica anual*

Així doncs, a partir del moment que les instal·lacions fotovoltaïques entrin en funcionament, s'haurà de pagar només la factura elèctrica. Amb una inversió inicial de 43 M€, els mòduls proporcionaran una estalvi de 1,8 M€ anual en la factura elèctrica.

## 9.4. Quadre de resultats

En el quadre de resultats hi apareixen la inversió inicial i l'evolució de l'import estalviat. Aquest estalvi afegit als beneficis de la venda d'electricitat mitjançant les estacions de recàrrega formaran la partida dels beneficis. En aquí se l'hi restarà una partida anual en concepte de despeses de manteniment tal i com s'ha detallat anteriorment. A aquests valors inicials se'ls hi aplicarà un increment anual del preu de venda de l'electricitat del 2.5%, que es una estimació de la mitja de l'IPC per els propers anys (3%) menys el 0,5%. Aquest mateix augment es considera per els costos de manteniment anuals.

Així s'obtenen uns guanys que determinarà el payback de la inversió inicial. El total acumulat es calcularà a 25 anys, ja que és el període d'amortització del mòduls fotovoltaïcs. Es pot veure el detall dels càlculs a l'Annex E.

Anys	Inversió	Estalvi	Venta recàrrega	Manteniment	Total guany	Total acumulat
0	43.464.296,32					
1		1.816.543,00	41.973,00	255.900,00	1.602.616,00	1.602.616,00
2		1.861.956,58	43.022,33	262.297,50	1.642.681,40	3.245.297,41
3		1.908.505,49	44.097,88	268.854,94	1.683.748,44	4.929.045,85
21		2.976.617,23	68.777,65	419.321,95	2.626.072,93	43.564.350,06
25		3.285.628,47	75.917,65	462.852,97	2.898.693,16	54.741.779,17

*Taula 9.7: Quadre de resultats*

No s'aconsegueix un retorn total de la inversió fins al cap de 21 anys. Aquest temps es pot considerar alt, això és degut principalment a la utilització d'aquests mòduls de menor eficiència en condicions d'inclinació i azimuth no òptimes però que ens han permès aprofitar l'element passiu de les cobertes. Com més temps es trigui pel retorn de la inversió més incerteses poden afectar-lo.

Així doncs es pot dir que la inversió no es pot considerar atractiva econòmicament per els inversors. En un futur però, hi ha opcions per a que aquest projecte pogués ser rentable degut als canvis que poden passar. Per exemple, el preu de les instal·lacions per energia fotovoltaica cada cop baixa més al mateix temps que s'augmenta a poc a poc el seu rendiment, tant a les fotovoltaïques clàssiques com a les que tracta aquest estudi. Una altre opció que podria fer aquest projecte viable seria un canvi de legislació per fer-la més favorable a les energies renovables, amb més incentius i reduint els impostos. Degut a una legislació restrictiva estem perdent tota l'energia dels dies i hores no laborables que es podria introduir a la xarxa per vendre-la, cosa que en aquest moment no és atractiu per tots els costos que comporta.

## 10. Impacte mediambiental

Cada cop més estem més atents a l'impacte que l'activitat humana suposa al medi ambient. Existeixen multitud d'associacions, fundacions i empreses sensibilitzades amb el medi ambient i que aposten activament per un desenvolupament sostenible de la societat. Protocols com el de Kyoto o Paris reuneixen a governs per arribar a acords que estableixin els objectius i les mesures per reduir els efectes de la petjada humana respecte al medi ambient. I una de les formes més efectives d'aconseguir aquests objectius és fomentar l'ús d'energies renovables.

Els avantatges principals de l'energia solar fotovoltaica és que no emeten gasos d'efecte hivernacle, és una font d'energia infinita i a més redueix la nostre dependència energètica exterior en importació de combustibles fòssils com el petroli i el gas natural.

L'energia solar fotovoltaica tot i ser, amb diferència, molt més neta que qualsevol energia no renovable també produeix impactes mediambientals, bàsicament durant el seu procés de fabricació. Els principals impactes que es poden considerar, per la seva naturalesa, són:

- Químics: abocaments de sòlids, líquid i gasos.
- Físics: acústics i visuals (no presents en el nostre cas)
- Biològics: impactes sobre l'ecosistema (no presents en el nostre cas)

Els materials que s'utilitzen o que s'han proposat per la fabricació de cèl·lules solars són variats: silici (cristal·litzat i amorf), germani, seleni, AsGa, seleniür de coure (SeCu i Se<sub>2</sub>CuGa), sulfurs diversos i òxids de coure entre altres.

Durant la fabricació d'aquest material es produeixen emissions de TeCD, B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, BCl<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, HF, SeH<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, PH<sub>3</sub>, POCl<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, FH<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>Si, P<sub>2</sub>Zn<sub>3</sub> entre altres i vapors metàl·lics, alguns tòxics.

Per tant, la fabricació de plaques fotovoltaïques és un procés complicat que necessita una gran diversitat de matèries primes les quals no es troben en estat pur i en molts casos s'han de fondre (cas del silici) i fer créixer, etapa en la que s'inverteix molt de temps i molta energia.

## 10.1.Reducció d'emissions

Per conèixer l'estat actual de les emissions atmosfèriques a Espanya s'ha consultat la web de l'Observatori de l'Electricitat de WWF [\[18\]](#). S'utilitzaran els valors d'emissió del mes de maig de 2016:

- Diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>): 0.076 kg/kWh
- Diòxid de sofre (SO<sub>2</sub>): 0.132 g/kWh
- Òxid de nitrogen (NO<sub>x</sub>): 0.104 g/kWh

Una dada per destacar que ens ofereix l'Observatori de l'Electricitat de WWF, ens indica que durant aquest mes, la generació d'energia solar fotovoltaica va ser de 786 GWh, amb una aportació del 4% del total de l'energia generada a Espanya.

A continuació, s'aplicaran els valors d'emissió a la quantitat d'energia anual produïda amb el mòduls fotovoltaics:

	Ep [kWh/any]	CO2 [t]	SO2 [kg]	NOx [kg]
CIM Selva	3.440.674,44	261,49	454,17	357,83
CIM Vallès	12.465.867,58	947,41	1.645,49	1.296,45
TOTAL	15.906.542,02	1.208,90	2.099,66	1.654,28

*Taula 10.1: Reducció anual d'emissions*

A més d'aquesta reducció d'emissions, s'ha d'afegir l'estalvi d'emissions que permet la utilització de vehicles elèctrics. És difícil predir l'ús que es farà de totes les estacions de recàrrega, però si agafem la hipòtesi feta a l'estudi econòmic, es consumiran 231.768 kWh/any. Això equival a 17,61 t de CO<sub>2</sub>, 30,59 kg de SO<sub>2</sub> i 24,10 kg de NO<sub>x</sub> anuals.

Aquests càlculs estan basats en una mitja de massa de gas emès per kWh generat per el mes de maig de 2016. Es fa difícil predir el càlcul de reducció de les emissions per els següents anys. Tot i això, es conclou que anualment, les instal·lacions fotovoltaïques i de recarrega de vehicles que poden disminuir les emissions un total de 1226,51 t de CO<sub>2</sub>, 2130,26 kg de SO<sub>2</sub> i 1678,38 kg de NO<sub>x</sub>.

## 11. Planificació i manteniment

### 11.1. Planificació

Abans de posar en marxa un projecte com aquest, existeix tot un procés de legalització i tramitació darrere que, en el cas de l'energia fotovoltaica, pot allargar-se durant un període considerable.

Els terminis d'execució del projecte es divideixen en quatre fase: Predisseny, Tràmits d'execució, Legalització, Verificació i posada en marxa.

En l'annex G s'hi pot trobar el diagrama de Gantt per la planificació d'una instal·lació de 100kW amb les diferents fases del projecte. En alguns casos, una fase pot començar en superposició amb altres fases anteriors. Els períodes es comptabilitzen per setmanes i es detallen aquí els processos a fer a cada una de les quatre fases:

- Predisseny: 13 setmanes
  - Estudi de viabilitat: 4 setmanes
  - Projecte tècnic: 4 setmanes
  - Sol·licitud de punt de connexió a la xarxa: 5 setmanes
- Execució: 21 setmanes
  - Contracte d'electricitat: 4 setmanes
  - Llicència d'obres: 10 setmanes
  - Execució del projecte d'instal·lació: 10 setmanes
  - Certificació de la instal·lació: 1 setmana
- Legalització: 12 setmanes
  - Llicència d'activitat: 8 setmanes
  - Obtenció d'autorització administrativa: 12 setmanes
  - Autorització de posada en marxa: 3 setmanes
- Verificació i posada en marxa: 2 setmanes
  - Verificació d'equips: 1 setmana
  - Emissió del certificat de compliment: 1 setmana

Duració total del projecte: 48 setmanes.



## 11.2. Manteniment

El manteniment d'una instal·lació fotovoltaica es en general simple i de caràcter preventiu. No requereix canvi de peces ni lubricant, només assegurar que les connexions elèctriques es mantenen correctament i que no hi hagi brutícia dipositada sobre els mòduls. En el cas que els mòduls solars en qüestió en aquest projecte això es simplifica encara més pel seu pes lleuger.

Poden haver-hi casos en què hi hagi una avaria, llavors s'haurà de realitzar un manteniment especial de caràcter correctiu. Un cop detectada l'avaría, un tècnic especialista haurà de fer un diagnòstic i determinar el pla d'acció previst per corregir-la. Afortunadament, si un sistema fotovoltaic ha estat correctament configurat, les possibilitats d'avaría son mínimes i per tant no se'n té compte en l'anàlisi econòmic.

Ambdós tipus de manteniment es realitzen d'acord amb el Plec de Condicions Tècniques [30]. Les principals operacions de tipus preventiu a realitzar són:

- Neteja mensual del panell solar: es netejarà un cop el mes per la brutícia que s'hagi pogut acumular a sobre del panell. També s'hauran de netejar els panells després de una nevada, pluja de fang o fenomen que pugui depositar brutícia sobre dels panells. Es farà fora de les hores de màxima irradiació per evitar canvis bruscs de temperatura en la superfície del panell.
- Inspecció anual de les connexions elèctriques dels panells. Comprovar que cap cable tingui excessives pujades de temperatura, comprovar el correcte estat i adherència d'aquests terminals als panells.
- Inspecció anual dels inversor i CDP-0. Gràcies a les lectures per la pantalla de l'estat dels equips, n'hi haurà prou amb una inspecció anual per comprovar-ne el seu estat correcte.

## Conclusions

Aquest projecte ha estudiat l'aplicació de la tecnologia de capa fina en les cobertes de les naus industrials dels polígons CIM La Selva i CIM Vallès. Un cop realitzats els anàlisis del projecte, se'n poden extreure varies conclusions.

La primera és l'estat de la tecnologia triada. Els panells solars fotovoltaïques de capa fina, amb una eficiència bastant inferior als panells solars tradicionals fa que tingui ara mateix poc mercat en un mercat ja bastant reduït. Moltes empreses han deixat de comercialitzar aquests panells i les que queden estan enfocades en un mercat molt especialitzat.

Una altra conclusió es la que respecte a la decisió d'implementar aquest projecte. El retorn de la inversió total no s'aconsegueix fins al cap de 21 anys, un període massa llarg per resultar atractiu. Amb les noves lleis d'aquests últims anys que regulen l'energia solar es fa difícil de realitzar un projecte atractiu econòmicament.

Tot i això, aquest projecte pot servir en un futur quan hi hagin condicions més favorables. Qualsevol edifici industrial amb suficient espai en les seves cobertes podria instal·lar-hi sense problemes una instal·lació amb aquests mòduls fotovoltaïcs. Un cop fet l'estudi energètic se sap que els edificis d'aquests polígons poden generar 3,44 i 12.47 GWh anuals en els CIM La Selva i CIM Vallès respectivament que representa el 56,55% i 77,20% de la demanda elèctrica respectivament. A més reduiria en 1226,51 t les emissions de CO<sub>2</sub> l'any.

Al final de l'estudi econòmic es plantegen algunes recomanacions per millorar la viabilitat del projecte, entre les que destaquen entre altres: esperar que hi hagin nous avenços en aquesta tecnologia fotovoltaïca que en millorin l'eficiència i redueixin el preu de fabricació, i esperar un marc legislatiu més favorable per les instal·lacions fotovoltaïques.

La tecnologia fotovoltaïca ha avançat considerablement aquests últims anys i es preveu que ho continuï fent en el futur. Augmentaran les eficiències dels panell i es reduiran els costos de fabricació, fent que estudis com el d'aquest projecte podran tenir un millor resultat en el futur.

Per acabar, l'objectiu és clar: transformar el sector energètic en un sistema d'energies renovables que respecti el medi ambient i que ajudi als països a complir els protocols com els de Kyoto i París. Una de les vies és augmentar la generació fotovoltaïca, i Espanya està situat en una zona geogràfica privilegiada, més que Alemanya (actualment el país d'Europa amb més potència fotovoltaïca instal·lada). S'espera que arribi un moment en que aquest projecte i projectes similars d'autoconsum fotovoltaïc sigui viables econòmicament i es puguin implementar.

## Agraïments

Primer m'agradaria agrair al professor Emilio Hernández per oferir-me la possibilitat de realitzar aquest projecte i per la seva confiança. Sense ell, no hagués pogut acabar el projecte.

També voldria agrair a totes les empreses contactades que m'han respòs ràpidament i resolt tots els dubtes que tenia.

Finalment, voldria també agrair a la meua família pel recolzament i la paciència que han tingut.



## Bibliografia

- [1] IEA Key World Energy Statistics 2016
- [2] BP Energy Outlook 2017
- [3] Real Decreto-Ley 1/2012, de 27 de gener
- [4] European Photovoltaic Industry Association (EPIA): Global Market Outlook 2017
- [5] Real Decreto-Ley 1578/2009, de 26 de setembre
- [6] Real Decreto-Ley 1565/2010, de 19 de novembre
- [7] Real Decreto-Ley 1699/2011, de 18 de novembre
- [8] Llei del Sector Elèctric 24/2013 del 26 de desembre
- [9] Real Decreto-Ley 900/2015, de 9 d'octubre
- [10] Componentes de una instalación solar fotovoltaica. Editorial McGraw Hill. Recurso didáctico online. [<http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>]
- [11] CIMALSA – [<http://www.cimalsa.cat>]
- [12] Circutor. Soluciones per autoconsum [[http://docs.circutor.com/docs/CT\\_Autoconsumo\\_2017\\_SP.pdf](http://docs.circutor.com/docs/CT_Autoconsumo_2017_SP.pdf)]
- [13] Gioco Solutions [<http://www.giocosolutions.com/en/>]
- [14] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Fotovoltaicas Conectadas a Red
- [15] Eina de la Comissió Europea PVGIS. Solar Irradiation Data. [<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>]
- [16] National Renewable Energy Laboratory [<https://www.nrel.gov/>]
- [17] Tarifas de Gas y Luz [<http://tarifasgasluz.com>]
- [18] l'Observatori de l'Electricitat de WWF [<http://www.wwf.es/?39680/Observatorio-de-la-electricidad-mayo-2016>]